

Vom Fachbereich  
Architektur/Raum- und Umweltplanung/Bauingenieurwesen  
der Universität Kaiserslautern  
zur Verleihung des akademischen Grades Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)  
genehmigte Dissertation

# **MULTIKRITERIELLE OPTIMIERUNG DER SANIERUNGSPLANUNG VON ENTWÄSSERUNGSNETZEN**

von  
Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH)  
Christian Peter Ochs

Dekan:	Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kurz
Erster Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Karsten Körkemeyer
Zweiter Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Theo Schmitt
Dritter Berichterstatter:	Prof. Dr. rer. pol. Dipl.-Ing. Rolf Fillibeck
Tag der mündlichen Prüfung:	13. Dezember 2012

Kaiserslautern 2012

**D 386**



## **Zusammenfassung**

Im Bereich kommunaler Entwässerungsnetze besteht nach den regelmäßig erfolgenden DWA-Umfragen über den Zustand der Kanalisationen ein hoher Sanierungsbedarf, obwohl die Problematik seit längerem bekannt ist und erhebliche Anstrengungen zur Netzzustandsverbesserung unternommen werden. Stand der Technik ist eine ganzheitliche Herangehensweise mit dem Ziel, funktionssichere, dauerhafte und dichte Netze zu erhalten, die auch zukünftig einen wirtschaftlichen Betrieb ermöglichen, und dabei den Vermögenswert, den die Netze verkörpern, langfristig zu erhalten. Nach wie vor ist dieses Ziel nicht erreicht, so dass die Sanierungsplanungen der Kommunen geprüft und analysiert werden müssen, um vorhandenes Optimierungspotential zu identifizieren.

Die vorliegende Arbeit setzt an dieser Problematik an. Sie prüft, in welcher Weise der Prozess der Sanierungsplanung im Hinblick auf den Strategieansatz („Strategiemix“) einer Kommune und ihres Entwässerungsbetriebes optimiert werden kann. Sie entwickelt darüber hinaus eine geeignete Entscheidungshilfe für die Wahl des optimalen Sanierungsverfahrens.

Der vorgestellte Lösungsansatz beinhaltet unter Berücksichtigung zahlreicher Entscheidungskriterien erstens eine systematische Vorgehensweise zur Wahl, Festsetzung und Durchführung von Strategieansätzen. Das Verfahren und sein Ergebnis werden als „multikriterielle Sanierungsstrategie“ bezeichnet. Zweitens wird die Entwicklung eines geeigneten Bewertungsverfahrens zur Festlegung geeigneter Sanierungsverfahren betrachtet („multikriterielle Verfahrenswahl“). Drittens verknüpft der Lösungsansatz systematisch den Strategiemix auf Netzebene mit den in erster Linie technischen Elementen auf Haltungsebene. Hierfür wird der Begriff der „strategischen Sanierungsplanung“ neu eingeführt.

Da jedes Entwässerungsnetz unterschiedliche Randbedingungen aufweist, können die Kommunen mit diesem Verfahren ihre eigenen Akzente bei der Priorisierung der einzelnen Entscheidungskriterien setzen und auf diese Weise ihre individuellen Sanierungsziele durch die systematische Verknüpfung der Strategien auf Netzebene mit den Anforderungen auf Haltungsebene wirksam und wirtschaftlich verfolgen.





# **Inhaltsverzeichnis**

Seite

<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>V</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>VIII</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>XII</b>
 <b>1. Einleitung .....</b>	 <b>1</b>
1.1 Ausgangssituation .....	1
1.2 Problemstellung .....	4
1.3 Zielsetzung .....	5
1.4 Vorgehensweise .....	7
 <b>2. Grundlagen .....</b>	 <b>11</b>
2.1 Rechtliche Rahmenbedingungen.....	11
2.1.1 Hierarchie der Rechtsnormen.....	11
2.1.2 Abwasserbeseitigungspflicht .....	12
2.1.3 Anschluss- und Benutzungszwang .....	12
2.1.4 Sanierungspflicht .....	13
2.1.5 Erhebung von Abgaben .....	14
2.1.6 Rechtsformen der Institute .....	15
2.2 Elemente eines Entwässerungsnetzes .....	17
2.2.1 Aufbau.....	17
2.2.2 Querschnitte .....	18
2.2.3 Werkstoffe .....	18
2.3 Ursachen und Verteilung von Schäden an Kanälen .....	20
2.3.1 Schadensarten .....	20
2.3.2 Schadensverteilung .....	25
2.4 Zustand der Kanalisation .....	29

### **3. Instandhaltung der Kanalisation..... 31**

3.1 Grundlagen der Instandhaltung („Instandhaltung“ vs. „Sanierung“)	31
3.1.1 Instandhaltungsbegriff nach DIN 31051	31
3.1.2 Instandhaltungsbegriff in der unterirdischen Infrastruktur	36
3.1.3 Instandhaltungsstau	40
3.2 Zustandsbeurteilung	44
3.2.1 Allgemeines	44
3.2.2 Zustandserfassung und Dokumentation	45
3.2.3 Zustandsklassifizierung und Zustandsbewertung	46
3.2.4 Modellbeispiele zur Zustandsbeurteilung	47
3.2.5 Zusammenfassung Zustandsbeurteilung	56
3.3 Sanierungsverfahren	57
3.3.1 Verfahrensübersicht	57
3.3.2 Reparaturverfahren	59
3.3.3 Renovierungsverfahren	71
3.3.4 Erneuerungsverfahren	83

### **4. Strategische Sanierungsplanung..... 89**

4.1 Begriffserläuterungen	89
4.1.1 Ebenen in der Sanierungsplanung	89
4.1.2 Sanierungsstrategie	91
4.1.3 Ganzheitliche generelle Sanierungsplanung (GSP)	92
4.2 Ziele und Ansätze im Kanalmanagement	93
4.2.1 Übergeordnete Ziele in der Entwässerung	93
4.2.2 Anforderungen an ein Entwässerungsnetz	94
4.2.3 Sanierungsziele	94
4.2.4 Ganzheitlicher Lösungsansatz	98
4.2.5 Integrales Kanalmanagement	100
4.2.6 Zwischenfazit	104
4.3 Multikriterielle Betrachtung der Sanierungsplanung auf Netzebene	105
4.3.1 Strategiebetrachtung auf Netzebene eines Entwässerungssystems	105
4.3.2 Grundstrategien der Sanierung	107
4.3.3 Weitere häufige Strategieelemente	113
4.3.4 Entscheidungskriterien auf Netzebene	116
4.4 Multikriterielle Betrachtung der Sanierungsplanung auf Haltungsebene	117
4.4.1 Betrachtung der Verfahrenswahl auf Haltungsebene	117

4.4.2	Entscheidungskriterien auf Haltungsebene .....	117
4.4.3	Methoden zur Wahl der besten Sanierungstechnik .....	120

## **5. Entscheidungstheorie in der Sanierungsplanung .....127**

5.1	Allgemeines .....	127
5.2	Darstellung von Entscheidungsproblemen durch Entscheidungsmodelle .....	129
5.2.1	Basiselemente eines Entscheidungsmodells .....	129
5.2.2	Handlungsalternativen .....	133
5.2.3	Umweltzustände und Eintrittswahrscheinlichkeiten .....	133
5.2.4	Ergebnisse .....	133
5.2.5	Zielsystem .....	134
5.3	Typologien bei Entscheidungen .....	137
5.3.1	Klassifizierung von Entscheidungsmodellen .....	137
5.3.2	Entscheidungen bei Sicherheit .....	141
5.3.3	Entscheidungen bei Ungewissheit .....	141
5.3.4	Entscheidungen bei Risiko .....	144
5.3.5	Multikriterielle Entscheidungsprobleme .....	147
5.4	Analyse der Bewertungsverfahren zur Entscheidungsfindung in der Sanierungsplanung .....	150
5.4.1	Das Entscheidungsproblem in der Sanierungsplanung .....	150
5.4.2	Nutzwertanalyse .....	152
5.4.3	Analytical Hierarchy Process (AHP) .....	159
5.4.4	Formalisiertes Abwägungs- und Rangordnungsverfahren (FAR) .....	168
5.5	Entscheidungstheorie – Fazit .....	172

## **6. Optimierung der Sanierungsplanung .....175**

6.1	Optimierungspotential – Ein Überblick .....	175
6.1.1	Optimierungsbegriff .....	175
6.1.2	Optimierungsansätze .....	176
6.2	Der Strategieansatz als Kernelement einer optimierten Sanierungsplanung .....	176
6.2.1	Allgemeines .....	176
6.2.2	Verhältnis der Grundstrategien zueinander .....	178
6.2.3	Entscheidungsprozess zur Wahl von Sanierungsstrategien .....	184
6.2.4	Übergeordnete Empfehlungen bei Anwendung der Grundstrategien .....	188
6.2.5	Hierarchiestruktur der Grundstrategien .....	189
6.2.6	Exkurs: Festlegung einer „Basisvariante“ .....	191

6.3 Wahl des geeigneten Entscheidungsmodells .....	192
6.3.1 Vergleich der multikriteriellen Bewertungsverfahren.....	192
6.3.2 Zusammenfassung der Vor- und Nachteile der Modelle .....	194
6.3.3 Festlegung und Begründung des geeigneten Bewertungsverfahrens.....	196
6.3.4 Methodik und Vorgehensweise des gewählten Entscheidungsmodells bei der Wahl geeigneter Sanierungsverfahren .....	197
6.4 Verknüpfung von Netzebene und Haltungsebene .....	199
6.4.1 Zusammenhang der Ebenen – Einführung.....	199
6.4.2 Auswirkungen der Grundstrategien auf die Sanierungsart.....	201
6.4.3 Auswirkungen der Grundstrategien auf die einzelnen Entscheidungskriterien .....	203
6.4.4 Dreistufige Verknüpfung der Netzebene mit der Haltungsebene.....	204
6.5 Optimierung durch strategische Sanierungsplanung – Fazit.....	206
<b>7. Anwendung der multikriteriellen Optimierung, gezeigt an     einem Handlungsbeispiel .....</b>	<b>209</b>
7.1 Die „Modell-Determinanten“ in der Anwendung .....	209
7.1.1 Definition des Zielsystems .....	209
7.1.2 Darstellung der Ergebnismatrix .....	211
7.1.3 Bewertungsschema mit Skalierung .....	214
7.2 Die „Modell-Variablen“ in der Anwendung .....	218
7.2.1 Bestandsdaten der Haltung.....	218
7.2.2 Auswahl der technisch durchführbaren Entscheidungsalternativen .....	219
7.2.3 Darstellung der Entscheidungsmatrix (Transformation der Ergebnisse).....	225
7.2.4 Gewichtung der Kriterien.....	229
7.2.5 Ermittlung der Teil- und Gesamtnutzwerte .....	233
7.2.6 Sensitivitätsanalyse.....	234
7.2.7 Rangfolge der Ergebnisse .....	236
7.2.8 Zusammenfassung Anwendungsbeispiel .....	238
<b>8. Fazit .....</b>	<b>239</b>
<b>9. Ausblick.....</b>	<b>243</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>245</b>
<b>Glossar .....</b>	<b>255</b>
<b>Anhang.....</b>	<b>261</b>

## **Abbildungsverzeichnis**

	Seite
<b>Abbildung 1-01:</b> Flussdiagramm „Vorgehensweise“ .....	10
<b>Abbildung 2-01:</b> Übersicht der Rechtsformen zur Abwasserbeseitigung .....	16
<b>Abbildung 2-02:</b> Schadensverteilung in unterschiedlichen Kanalnetzen.....	26
<b>Abbildung 2-03:</b> Schadensverteilung an Kanälen .....	27
<b>Abbildung 2-04:</b> Schadenshäufigkeit von Abwasserkanälen aus Beton- und Steinzeugrohren.....	28
<b>Abbildung 3-01:</b> Unterteilung der Instandhaltung nach DIN 31051:2012 .....	31
<b>Abbildung 3-02:</b> Verzögerter Abbau des Abnutzungsvorrats und Verlängerung der Lebensdauer durch Wartungsmaßnahmen.....	32
<b>Abbildung 3-03:</b> Unterscheidung zwischen funktionsfähigem Zustand nach Instandsetzung und Sollzustand nach Herstellung .....	33
<b>Abbildung 3-04:</b> Zeitpunkt der Instandsetzung <u>vor</u> Erreichen der Abnutzungsgrenze .....	33
<b>Abbildung 3-05:</b> Zeitpunkt der Instandsetzung <u>bei</u> Erreichen der Abnutzungsgrenze .....	34
<b>Abbildung 3-06:</b> Zeitpunkt der Instandsetzung <u>nach</u> Erreichen der Abnutzungsgrenze.....	34
<b>Abbildung 3-07:</b> Verbesserung als Steigerung der Funktionssicherheit einer Betrachtungseinheit .....	35
<b>Abbildung 3-08:</b> Grundmaßnahmen der Instandhaltung.....	35
<b>Abbildung 3-09:</b> Unterteilung der Instandhaltung im Tiefbau .....	36
<b>Abbildung 3-10:</b> Substanzwertverzehr im Tiefbau mit und ohne Wartung .....	38
<b>Abbildung 3-11:</b> Instandhaltung im Tiefbau .....	40
<b>Abbildung 3-12:</b> Tatsächlich angefallene und investierte Instandhaltungskosten pro Jahr im Vergleich .....	41
<b>Abbildung 3-13:</b> Aufbau eines Instandhaltungsstaus nach z.B. 15 Jahren .....	42
<b>Abbildung 3-14:</b> Abbau eines Instandhaltungsstaus innerhalb von z.B. 7 Jahren .....	43
<b>Abbildung 3-15:</b> Exemplarische Übersicht eines möglichen Verlaufs der investierten Instandhaltungskosten (z.B. Verbesserung) über die wirtschaftliche Lebensdauer.....	43
<b>Abbildung 3-16:</b> Ablauf der Zustandsklassifizierung und -bewertung mit ISYBAU .....	49
<b>Abbildung 3-17:</b> Arbeitsablauf zur Zustandsbeurteilung nach DWA-M 149-3 .....	53
<b>Abbildung 3-18:</b> Schema der Kanalzustandsbewertung mit KAPRI .....	55
<b>Abbildung 3-19:</b> Überblick über die Verfahrenshauptgruppen .....	58
<b>Abbildung 3-20:</b> Roboterverfahren, Fräs- und Schleifarbeiten .....	59
<b>Abbildung 3-21:</b> Injektionsverfahren, Packersystem .....	61

<b>Abbildung 3-22:</b>	Flutungsverfahren, Einfüllen Komponente A .....	63
<b>Abbildung 3-23:</b>	Flutungsverfahren, Einfüllen Komponente B .....	64
<b>Abbildung 3-24:</b>	Flutungsverfahren, Reaktionsprodukt aus A und B .....	64
<b>Abbildung 3-25:</b>	Aufbringen einer harzgetränkten Gewebematte auf Versetzpacker .....	66
<b>Abbildung 3-26:</b>	Edelstahlmanschette .....	66
<b>Abbildung 3-27:</b>	Partielle Abdichtung, Prinzip Einbauvorgang .....	67
<b>Abbildung 3-28:</b>	Stutzenreparatur, Verfahrensprinzip.....	68
<b>Abbildung 3-29:</b>	Stutzenreparatur, Spezialpacker mit ein- und ausgefahrner Blase .....	68
<b>Abbildung 3-30:</b>	Rohrrelining, Kurzrohrrelining.....	72
<b>Abbildung 3-31:</b>	Rohrrelining, Langrohrrelining .....	73
<b>Abbildung 3-32:</b>	Close-Fit, Verfahrensprinzip .....	74
<b>Abbildung 3-33:</b>	Close-Fit, Einbau .....	75
<b>Abbildung 3-34:</b>	Schlauchrelining, Prinzip Wärme-Aushärtung .....	77
<b>Abbildung 3-35:</b>	Schlauchrelining, Prinzip UV-Aushärtung .....	77
<b>Abbildung 3-36:</b>	Schlauchrelining, Einbau über Schacht .....	77
<b>Abbildung 3-37:</b>	Trolining, Liner .....	79
<b>Abbildung 3-38:</b>	Trolining, Verfahrensprinzip und Verfüllung Ringraum .....	79
<b>Abbildung 3-39:</b>	Wickelrohrrelining, Wickelmaschine im Schacht .....	81
<b>Abbildung 3-40:</b>	Beschichtungsverfahren, Prinzip Anschleuderverfahren.....	82
<b>Abbildung 3-41:</b>	Beschichtungsverfahren, Anschleudermaschine.....	83
<b>Abbildung 3-42:</b>	Pipe-Eating, Verfahrensprinzip.....	85
<b>Abbildung 3-43:</b>	Pipe-Eating, Tunnelbohrmaschine.....	85
<b>Abbildung 3-44:</b>	Berstlining, Verfahrensprinzip.....	86
<b>Abbildung 3-45:</b>	Berstlining, Übersicht.....	86
<b>Abbildung 3-46:</b>	Berstlining, Berstkopf .....	86
<b>Abbildung 4-01:</b>	Zusammenhang zwischen Netzebene und Haltungsebene.....	89
<b>Abbildung 4-02:</b>	Mehrdimensionalität in der Sanierungsplanung .....	90
<b>Abbildung 4-02:</b>	Flussdiagramm allgemeiner Ablauf der gebietsbezogenen Strategie.....	109
<b>Abbildung 4-03:</b>	Entscheidungsprozess zur Wahl der baulichen Sanierungsart .....	122
<b>Abbildung 5-01:</b>	Basiselemente eines Entscheidungsmodells .....	130
<b>Abbildung 5-02:</b>	Gegenseitige Beeinflussung der Basiselemente .....	132
<b>Abbildung 5-03:</b>	Multikriterielle Entscheidungsverfahren .....	148
<b>Abbildung 5-04:</b>	Vorgehensweise bei der Nutzwertanalyse .....	154
<b>Abbildung 5-05:</b>	Zielhierarchie (NWA) .....	155
<b>Abbildung 5-06:</b>	Ablaufschema des AHP .....	161

---

<b>Abbildung 5-07:</b>	Hierarchie des AHP.....	161
<b>Abbildung 5-08:</b>	Hierarchie des FAR.....	169
<b>Abbildung 5-09:</b>	Paarweiser Vergleich der Alternativen beim FAR .....	171
<b>Abbildung 6-01:</b>	Entscheidungsprozess zur Wahl einzelner Grundstrategien.....	185
<b>Abbildung 6-02:</b>	Hierarchie der Grundstrategien.....	190
<b>Abbildung 6-03:</b>	Konzeptionelles Modell zur Lösung des Entscheidungsproblems .....	199
<b>Abbildung 6-04:</b>	„Mehrdimensionalität“ in der strategischen Sanierungsplanung .....	206
<b>Abbildung 6-05:</b>	Ablauf und Optimierungsaspekte einer strategischen Sanierungsplanung ...	207
<b>Abbildung 7-01:</b>	Zielhierarchie Handlungsbeispiel – Übersicht.....	209
<b>Abbildung 7-02:</b>	Eingabemaske Standortdaten.....	220
<b>Abbildung 7-03:</b>	Ausgabe der Bestandsdaten der Haltung.....	220
<b>Abbildung 7-04:</b>	Eingabemaske „technische Kriterien“ (blanko) .....	221
<b>Abbildung 7-05:</b>	Eingabemaske „technische Kriterien“ (ausgefüllt).....	223
<b>Abbildung 7-06:</b>	Eingabemaske der Kriteriengewichte der Nebenziele .....	229
<b>Abbildung 7-07:</b>	Eingabemaske der Kriteriengewichte „technische Eignung“ in der 3. Ebene	230
<b>Abbildung 7-09:</b>	Eingabemaske der Kriteriengewichte „Wirtschaftlichkeit“ in der 3. Ebene ...	232

## **Tabellenverzeichnis**

Seite

<b>Tabelle 3-01:</b>	Relevanz wesentlicher Randbedingungen .....	47
<b>Tabelle 3-02:</b>	Transformation von Schadensklasse in Schadenszahl .....	50
<b>Tabelle 3-03:</b>	Zusatzpunkte für die Zustandsbewertung .....	51
<b>Tabelle 3-04:</b>	Ermittlung der endgültigen Einzelschadensklasse .....	51
<b>Tabelle 3-05:</b>	Bedeutung der Objektklassen.....	52
<b>Tabelle 3-06:</b>	Randbedingungen, Vor- und Nachteile beim Roboterfahren.....	60
<b>Tabelle 3-07:</b>	Randbedingungen, Vor- und Nachteile Injektionsverfahren .....	62
<b>Tabelle 3-08:</b>	Randbedingungen, Vor- und Nachteile des Flutungsverfahrens .....	65
<b>Tabelle 3-09:</b>	Randbedingungen, Vor- und Nachteile Partielle Abdichtung .....	67
<b>Tabelle 3-10:</b>	Randbedingungen, Vor- und Nachteile Zulaufanbindung mit Roboterfahren.....	69
<b>Tabelle 3-11:</b>	Randbedingungen, Vor- und Nachteile Zulaufanbindung mit Injektionsverfahren .....	69
<b>Tabelle 3-12:</b>	Randbedingungen, Vor- und Nachteile Zulaufanbindung mit Hutprofilen .....	70
<b>Tabelle 3-13:</b>	Randbedingungen, Vor- und Nachteile Punktuelle Aufgrabung .....	71
<b>Tabelle 3-14:</b>	Randbedingungen, Vor- und Nachteile Rohrstrang-Lining .....	73
<b>Tabelle 3-15:</b>	Randbedingungen, Vor- und Nachteile Einzelrohrlining .....	74
<b>Tabelle 3-16:</b>	Randbedingungen, Vor- und Nachteile Close-Fit-Verfahren .....	75
<b>Tabelle 3-17:</b>	Randbedingungen, Vor- und Nachteile Schlauchlining.....	78
<b>Tabelle 3-18:</b>	Randbedingungen, Vor- und Nachteile Trolining.....	80
<b>Tabelle 3-19:</b>	Randbedingungen, Vor- und Nachteile Wickelrohrrelining .....	81
<b>Tabelle 3-20:</b>	Randbedingungen, Vor- und Nachteile Beschichtungsverfahren.....	83
<b>Tabelle 3-21:</b>	Vor- und Nachteile offene Bauweise .....	84
<b>Tabelle 3-22:</b>	Randbedingungen, Vor- und Nachteile Pipe-Eating.....	85
<b>Tabelle 3-23:</b>	Randbedingungen, Vor- und Nachteile Berstlining .....	87
<b>Tabelle 4-01:</b>	Teilziele der Sanierung .....	96
<b>Tabelle 4-02:</b>	Spezielle Sanierungsziele der Entwässerungsbetriebe .....	97
<b>Tabelle 4-03:</b>	Relevante Ziele für Sanierungsstrategien.....	98
<b>Tabelle 4-04:</b>	Kriterien zur Wahl von Grundstrategien.....	116
<b>Tabelle 4-05:</b>	Verfahrenstechnische Entscheidungskriterien mit Erläuterungen.....	118
<b>Tabelle 4-06:</b>	Ökonomische Entscheidungskriterien mit Erläuterungen .....	119
<b>Tabelle 4-07:</b>	Ökologisch-soziale Entscheidungskriterien (mit Erläuterungen).....	120



<b>Tabelle 4-08:</b>	Beispiel von Kriterien-Effekte und Ranking eines FAR .....	124
<b>Tabelle 4-09:</b>	Vorteile Nachteile Tabelle .....	124
<b>Tabelle 5-01:</b>	Ergebnismatrix $e_{ij}$ mit Wahrscheinlichkeiten $p(s)$ .....	131
<b>Tabelle 5-02:</b>	Mögliche Wege zur Lösung von Entscheidungsproblemen .....	136
<b>Tabelle 5-03:</b>	Entscheidungsmatrix .....	137
<b>Tabelle 5-04:</b>	Klassifizierung von Entscheidungsmerkmalen (beispielhaft).....	137
<b>Tabelle 5-05:</b>	Ergebnismatrix bei mehreren Zielen.....	138
<b>Tabelle 5-06:</b>	Zielgrößenmatrix.....	141
<b>Tabelle 5-07:</b>	Enttäuschungs- bzw. Schadensmatrix .....	143
<b>Tabelle 5-08:</b>	Entscheidungsregeln bei Ungewissheit.....	144
<b>Tabelle 5-09:</b>	Ergebnismatrix, $\mu$ -Prinzip .....	144
<b>Tabelle 5-10:</b>	Ergebnismatrix, Bernoulli-Prinzip .....	146
<b>Tabelle 5-11:</b>	Entscheidungsmatrix, Bernoulli-Prinzip .....	146
<b>Tabelle 5-12:</b>	Ergebnismatrix bei der NWA .....	155
<b>Tabelle 5-13:</b>	Bewertung der Ergebnisse (NWA).....	156
<b>Tabelle 5-14:</b>	Entscheidungsmatrix bei der NWA .....	156
<b>Tabelle 5-15:</b>	Bewertungsschema zur Gewichtung der Kriterien bei der NWA.....	156
<b>Tabelle 5-16:</b>	Gewichtung der Kriterien (Prioritätsmatrix – obere Hälfte) .....	157
<b>Tabelle 5-17:</b>	Gewichtung der Kriterien (Prioritätsmatrix – gesamt) .....	157
<b>Tabelle 5-18:</b>	Gewichtung der Kriterien (Prioritätsmatrix – Faktor).....	157
<b>Tabelle 5-19:</b>	Ermittlung der gewichteten Teilnutzen (Bsp. NWA) .....	158
<b>Tabelle 5-20:</b>	Ermittlung des Gesamtnutzenwerts (Bsp. NWA).....	158
<b>Tabelle 5-21:</b>	Sensibilitätsanalyse (Bsp. NWA) .....	158
<b>Tabelle 5-22:</b>	Rangfolge der Alternativen (Bsp. NWA).....	159
<b>Tabelle 5-23:</b>	Ergebnismatrix beim AHP.....	162
<b>Tabelle 5-24:</b>	Bewertungsskala AHP .....	162
<b>Tabelle 5-25:</b>	AHP vereinfachtes Verfahren – Kriteriengewichtung .....	163
<b>Tabelle 5-26:</b>	AHP vereinfachtes Verfahren – Normierung auf den Wert „1“ .....	163
<b>Tabelle 5-27:</b>	AHP vereinfachtes Verfahren – relative Gewichtung .....	163
<b>Tabelle 5-28:</b>	exaktes Verfahren AHP – Kriterienvergleich .....	164
<b>Tabelle 5-29:</b>	Iterationsschritt 1 (AHP) .....	164
<b>Tabelle 5-30:</b>	Iterationsschritt 2 (AHP) .....	164
<b>Tabelle 5-31:</b>	Iterationsschritt 3 (AHP) .....	164
<b>Tabelle 5-32:</b>	Iterationsschritt 4 (AHP) .....	164
<b>Tabelle 5-33:</b>	Paarweiser Vergleich der Alternativen für <i>Kriterium</i> $K_1$ (Bsp. AHP) .....	165

<b>Tabelle 5-34:</b>	Gewichtung der Alternativen für <i>Kriterium</i> $K_1$ (Bsp. AHP) .....	165
<b>Tabelle 5-35:</b>	Paarweiser Vergleich und Gewichtung der Alternativen für <i>Kriterium</i> $K_2$ (Bsp. AHP) .....	166
<b>Tabelle 5-36:</b>	Paarweiser Vergleich und Gewichtung der Alternativen für <i>Kriterium</i> $K_3$ (Bsp. AHP) .....	166
<b>Tabelle 5-37:</b>	Paarweiser Vergleich und Gewichtung der Alternativen für <i>Kriterium</i> $K_4$ (Bsp. AHP) .....	167
<b>Tabelle 5-38:</b>	Ermittlung der gewichteten Teilnutzen im AHP.....	167
<b>Tabelle 5-39:</b>	Ermittlung des Gesamtnutzenwerts im AHP .....	167
<b>Tabelle 5-40:</b>	Ermittlung des Gesamtnutzenwerts im AHP (Sensitivitätsanalyse).....	168
<b>Tabelle 5-41:</b>	Rangfolge der Alternativen (Bsp. AHP).....	168
<b>Tabelle 5-42:</b>	Ergebnismatrix beim FAR.....	170
<b>Tabelle 5-43:</b>	Vorteile ( $V_i$ ) – Nachteile ( $N_i$ ) – Tabelle beim FAR.....	170
<b>Tabelle 5-44:</b>	Zusammenfassung der Ergebnisse der betrachteten Modelle.....	172
<b>Tabelle 6-01:</b>	Leitgedanke der Grundstrategien.....	177
<b>Tabelle 6-02:</b>	Matrix der Wirkungsbeziehung gewählter Grundstrategien.....	182
<b>Tabelle 6-03:</b>	Methodenvergleich – Vor- und Nachteile der betrachteten Modelle .....	195
<b>Tabelle 6-04:</b>	Einfluss gewählter Grundstrategien auf die Wahl der Sanierungsarten .....	201
<b>Tabelle 6-05:</b>	Auswirkungen der Grundstrategien auf die Kriterien der Haltungsebene.....	204
<b>Tabelle 7-01:</b>	Zielhierarchie Haltungsbeispiel – Ebene 3 und 4.....	210
<b>Tabelle 7-02:</b>	Ergebnismatrix bei Sanierungsentscheidungen (Auszug).....	212
<b>Tabelle 7-03:</b>	Ergänzende Ergebnismatrix zum Kriterium „Schadensart (Auszug)“ .....	213
<b>Tabelle 7-04:</b>	Ergänzende Ergebnismatrix zum Kriterium „vorbereitende Maßnahmen (Auszug)“ .....	214
<b>Tabelle 7-05:</b>	Ergänzende Ergebnismatrix zum Kriterium „Verkehrsbeeinträchtigung (Auszug)“ .....	214
<b>Tabelle 7-06:</b>	Kriterien inkl. Beschreibung bei Sanierungsentscheidungen.....	215
<b>Tabelle 7-07:</b>	Bewertungsschema mit Skalierung .....	216
<b>Tabelle 7-08:</b>	Vorgaben Haltungsbeispiel.....	218
<b>Tabelle 7-09:</b>	Entscheidungsmatrix des Haltungsbeispiels (Auszug) .....	226
<b>Tabelle 7-10:</b>	Entscheidungsmatrix „Schadensart“ (Auszug) .....	227
<b>Tabelle 7-11:</b>	Entscheidungsmatrix „vorbereitende Maßnahmen“ (Auszug) .....	228
<b>Tabelle 7-12:</b>	Entscheidungsmatrix „Verkehrsbeeinträchtigung“ (Auszug).....	228
<b>Tabelle 7-13:</b>	Berechnungsmatrix der Kriteriengewichte (Auszug).....	233
<b>Tabelle 7-14:</b>	Entscheidungsmatrix mit Kriteriengewichtung (Auszug) .....	234
<b>Tabelle 7-15:</b>	Sensitivitätsanalyse (Auszug) .....	235

<b>Tabelle 7-16:</b>	Sensitivitätsanalyse – Rangfolgenvergleich .....	236
<b>Tabelle 7-17:</b>	Entscheidungsmatrix mit Teil- und Gesamtnutzen – ursprüngliche Rangfolge (Auszug).....	237
<b>Tabelle 7-18:</b>	Entscheidungsmatrix mit Teil- und Gesamtnutzen – Sensitivitätsanalyse (Auszug) .....	237

## **Abkürzungsverzeichnis**

a. a. O.	am angegebenen Ort
ABK	Abwasserbeseitigungskonzept
Abs.	Absatz
AdöR, AöR	Anstalt des öffentlichen Rechts
AHP	Analytischer Hierarchie Prozess (Analytic Hierarchy Process)
ASZ	Asbestzement
ATV-DVWK	bis 2004 Kurzbezeichnung der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA)
B	Beton
BauGB	Baugesetzbuch
BGB	Bürgerliches Gesetzbuch
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMVBW	Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen
BMVg	Bundesministerium der Verteidigung
ca.	circa
d.h.	das heißt
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DVWK	Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
EigAnVo	Eigenbetriebs- und Anstaltenverordnung
EN	Euronorm
EÜVOA	Landesverordnung über die Eigenüberwachung von Abwasseranlagen RLP
e.V.	eingetragener Verein
f.	folgend[e]
FAR	Formalisiertes Abwägungs- und Rangordnungsverfahren
ff.	folgende Seiten
FZ	Faserzement
GemO	Gemeindeordnung
GEP	Generalentwässerungsplan
GFK	Glasfaserverstärkter Kunststoff
GG	Grauguss
GGG	Duktilguss
ggf.	gegebenenfalls
GIS	Geographisches-Informations-System
GSP	Ganzheitliche generelle Sanierungsplanung

GSTT	German Society for Trenchless Technology
i.d.R.	in der Regel
i.e.S.	im engeren Sinn
IH	Instandhaltung
ISO	International Organization for Standardization (früher: International Standard Organization)
i.w.S.	im weiteren Sinn
KANSAS	Verbundvorhaben Entwicklung einer ganzheitlichen <u>Kanalsanierungsstrategie</u> für Entwässerungsnetze Deutschlands
KNA	Kosten-Nutzen-Analyse
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
LD	Lebensdauer
LWG	Landeswassergesetz
MADM	Multi Attribute Decision Making
MAUT	Multi Attribute Utility Theory
MCDM	Multi Criteria Decision Making
MD	Modell-Determinante
MODM	Multi Objective Decision Making
Mrd.	Milliarde
MV	Modell-Variable
NWA	Nutzwertanalyse
OK	Objektklasse
OZ <sub>E</sub>	Endgültige Objektzahl
OZ <sub>V</sub>	Vorläufige Objektzahl
PE-HD	Polyethylen „high density“
PE-MD	Polyethylen “mid density”
PE-LD	Polyethylen “low density”
PP	Polypropylen
PVC	Polyvinylchlorid
PVC-U	Polyvinylchlorid unplasticized (PVC hart)
resp.	respektive
RLP	Rheinland-Pfalz
RND	Restnutzungsdauer
S.	Seite
SKB <sub>V</sub>	Vorläufige Schadensklasse Betriebssicherheit
SKD <sub>V</sub>	Vorläufige Schadensklasse Dichtheit
SKS <sub>V</sub>	Vorläufige Schadensklasse Standsicherheit

STZ	Steinzeug
SZB <sub>E</sub>	Endgültige Schadenszahl Betriebssicherheit
SZD <sub>E</sub>	Endgültige Schadenszahl Dichtheit
SZS <sub>E</sub>	Endgültige Schadenszahl Standsicherheit
SZB <sub>V</sub>	Vorläufige Schadenszahl Betriebssicherheit
SZD <sub>V</sub>	Vorläufige Schadenszahl Dichtheit
SZS <sub>V</sub>	Vorläufige Schadenszahl Standsicherheit
sog.	so genannte
StGB	Strafgesetzbuch
TV	Television
u.a.	unter anderem
UBA	Umweltbundesamt
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau
Vgl.	vergleiche
VOB/B	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen Teil B
WGG	Wassergewinnungsgebiet
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie
z.B.	zum Beispiel
ZMA	Zementmörtelauskleidung

# 1. Einleitung

## 1.1 Ausgangssituation

Jedes Bauwerk ist ein Unikat.

Im Hochbau ist es der Bauwirtschaft durch stete Entwicklung und Systematisierung von Methoden zur Zustandserfassung und Zustandsbeurteilung von Schäden und daraus resultierenden Instandhaltungsmaßnahmen mit entsprechender Budgetierung der Kosten gelungen, Merkmalseigenschaften der Bauwerke im Hinblick auf deren Instandhaltungserfordernisse zunehmend zu clustern. Dies resultiert primär aus der Möglichkeit, Schäden im Hochbau eher durch in Augenscheinnahme quantifizieren und bewerten zu können.

Im Tiefbau hingegen bleibt der Unikatscharakter der Bauwerke durchgängig erhalten. Dies gilt insbesondere für die Entwässerungsnetze, die aus Kanälen und Anlagen bestehen. Als ein Teil der unterirdischen Infrastruktur ist ein Entwässerungsnetz in erster Linie unsichtbar. Die Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen von der Wartung (Reinigung der Kanäle) über die Inspektion, mittels Sichtprüfung bei begehbaren Kanälen und TV-Kanaluntersuchung bei nicht-begehbaren Kanälen, bis hin zur Instandsetzung und Verbesserung (Sanierung) ist im Vergleich zum Hochbau nur unter erschwerten Bedingungen möglich. Dabei sorgen weniger die eindimensionalen Strukturen der Kanalisation für den Unikatscharakter (diese stellt eher eine scheinbare Vereinfachung zum Hochbau dar), sondern vielmehr die zahlreichen Schadensarten und -ursachen. Ferner entstehen zahlreiche Schäden vorerst unentdeckt im Untergrund, die sich mehr oder minder folgeschwer auf die Umwelt und die Kosten zum Erhalt eines funktionsfähigen und betriebssicheren Entwässerungsnetzes auswirken können.

Bislang fehlen methodische Ansätze, die Instandhaltungsproblematik durch Systematisierung zu vereinfachen und Kenntnis über den Alterungsverlauf (Abbau des Abnutzungsvorrates über die Zeit) jeder einzelnen Kanalhaltung zu erhalten, wie sie im Hochbau vorzufinden sind.

Nach DIN EN 752:2008 leisten Entwässerungsnetze als Teil der kommunalen technischen Infrastruktur durch den Abtransport des Abwassers aus „Gründen der öffentlichen Gesundheit und Hygiene“, zur „Vermeidung von Überflutungen“ und zum „Schutz der Umwelt“ einen wichtigen Dienst für die Gesellschaft.<sup>1</sup> Bei einem Wiederbeschaffungswert von „687 Milliarden Euro“<sup>2</sup> stellen die öffentlichen Entwässerungsnetze außerdem „ein bedeutendes Vermögen dar“<sup>3</sup> und sind darüber hinaus „eine der kostenintensivsten Infrastruktureinrichtungen“<sup>4</sup> der Kommunen. Trotzdem fehlt

---

<sup>1</sup> Vgl. DIN EN 752 (2008), S. 5

<sup>2</sup> Vgl. Berger / Falk (2011), S. 11

<sup>3</sup> Vgl. Schmidt (2009), S. 7

<sup>4</sup> Vgl. Plenker (2003), S. 10

das öffentliche Bewusstsein für die Bedeutsamkeit der Entwässerungsnetze, da sich diese als ver- bzw. begrabene Bauwerke der öffentlichen Wahrnehmung weitgehend entziehen.<sup>5</sup>

In Deutschland sind mittlerweile 96 % der Bevölkerung an die öffentliche Kanalisation angeschlossen.<sup>6</sup> Aufgrund des hohen Anschlussgrades, der demografischen Entwicklung und des Alters der Kanalnetze von durchschnittlich 41 Jahren wird künftig die Instandhaltung (Einsatz von Sanierungsmaßnahmen) eine klare Priorität gegenüber den Neubaumaßnahmen (Ersterschließung) erhalten.<sup>7</sup>

Durch die technische Entwicklung der Kameras zur TV-Kanalinspektion und der quantitativen Verfahren zur Zustandserfassung erhalten die Kommunen und Entwässerungsbetriebe immer mehr Kenntnis über den baulichen Zustand der Entwässerungsnetze. Es ist damit einhergehend ein öffentliches Umweltbewusstsein entstanden, das sich vor allem in den auf Länderebene eingeführten Eigenkontrollverordnungen mit der Pflicht zur periodischen Inspektion widerspiegelt.<sup>8</sup>

Das Wasserhaushaltsgesetz (§ 55 WHG „Grundsätze der Abwasserbeseitigung“) gibt grundsätzlich vor, Abwasser so zu beseitigen, dass das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt wird. Kraft Gesetz sind die Kommunen nach § 56 WHG („Pflicht zur Abwasserbeseitigung“) in Verbindung mit dem Landesrecht verpflichtet, diesen Aspekt im Rahmen der Wahrnehmung ihrer Aufgabe der Abwasserbeseitigungspflicht zu berücksichtigen, um eine Gefährdung für die Umwelt zu verhindern. Die Kommunen können sich als Abwasserbeseitigungspflichtige allerdings zur Erfüllung ihrer Pflichten (Gewährleistung einer funktionierenden, verfügbaren und betriebssicheren Siedlungsentwässerung) auch Dritter bedienen.

Laut DIN EN 752:2008 wird neben dem Umweltschutz auch das Ziel der nachhaltigen Entwicklung der Entwässerungsnetze postuliert. Der Brundtland-Bericht<sup>9</sup> versteht darunter „eine Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, dass künftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können“.

Diese als „Generationenvertrag“ bezeichnete, generationenübergreifende Verpflichtung resultiert systemimmanent aus der Tatsache, dass es „weder im Hinblick auf die finanzielle noch auf die bauliche Realisierung in wenigen Jahrzehnten möglich“ ist, umfangreichere Entwässerungsnetze zu errichten und wiederherzustellen.<sup>10</sup> Jede Generation muss die Leistung der vorangegangenen in Anspruch nehmen. Dadurch entsteht die Verpflichtung, auch der nächsten Generation ein funktionsfähiges Entwässerungsnetz zu überlassen.

---

<sup>5</sup> Vgl. Schmidt (2009), S. 7

<sup>6</sup> Vgl. Statistisches Bundesamt (2009)

<sup>7</sup> Vgl. Milojevic et al. (2005a), S. 11

<sup>8</sup> Vgl. a. a. O., S. 11 f.

<sup>9</sup> Vgl. Hauff (1987), S. 46 (In späteren Übersetzungen wurde der ursprüngliche Begriff „dauerhafte Entwicklung“ für „sustainable development“ durch „nachhaltige Entwicklung“ ersetzt [Viering / Liebchen / Kochendörfer 2007])

<sup>10</sup> Vgl. Milojevic et al. (2005a), S. 10



Der übermäßigen Abnutzung des Netzes mit einhergehendem Vermögensverzehr und Substanzwertverlust muss durch entsprechende Instandhaltungsmaßnahmen entgegengewirkt werden. Dies stellt eine weitere zentrale Anforderung an die Entwässerungsbetriebe dar, die nur unter Beachtung der Grundsätze nachhaltiger Entwicklung des Entwässerungsnetzes erfüllt werden kann.

Kommunen müssen in das Entwässerungsnetz investieren, um der Einhaltung der gesetzlichen Verordnungen zum Umweltschutz nachzukommen und eine nachhaltige Entwicklung des Entwässerungsnetzes zu gewährleisten. Diese Investitionen werden über regelmäßig zu leistende Gebühren und Beiträge finanziert. Demnach sind dem Mitteleinsatz zur Deckung der Kosten für Sanierungsmaßnahmen durch die von den Kommunen festgelegten Gebühren Grenzen gesetzt. Die Entwässerungsbetriebe sind somit gefordert, die zur Instandhaltung bereitgestellten Finanzmittel unter permanenter Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zielgerichtet einzusetzen.

Für die Instandhaltung von Entwässerungsnetzen ist somit in der Gesamtbetrachtung grundsätzlich eine „Metaebene“ von Anforderungen und Entscheidungskriterien zu berücksichtigen. Neben dem gesetzlich vorgeschriebenen Umweltschutz resultieren sie aus dem Gebot des Substanzwerterhaltes und aus den fiskalischen Gegebenheiten, also den Kosten und verfügbaren Mitteln. Mit dem Begriff Metaebene soll hierbei die Betrachtung von Entscheidungskriterien auf Netzebene, also dem gesamten Entwässerungsnetz einer Kommune, verstanden werden. Die Festlegung einer aus der Metaebene hergeleiteten Strategie für die Entwässerungsbetriebe gilt als Voraussetzung für eine darauf aufbauende nachhaltige, wirksame und wirtschaftliche Sanierungsplanung.

Unterhalb der Netzebene wird für einzelne Teilabschnitte die Bezeichnung Haltungen verwendet, so dass auch von Haltungsebene gesprochen werden kann.<sup>11</sup> Durch die Vorgaben der Eigenkontrollverordnung der Länder muss das gesamte Kanalnetz einer Kommune regelmäßig inspiziert werden. Dieser Inspektion des Gesamtnetzes mit entsprechender Klassifizierung, Bewertung und anschließenden Beurteilung der Schäden folgt im Rahmen der Sanierungsplanung die Wahl von Sanierungsverfahren, durch deren Einsatz die einzelnen Haltungen des gesamten Entwässerungsnetzes einer Kommune wieder in einen funktionssicheren und gesetzeskonformen Zustand gebracht werden.

Auf Haltungsebene gilt es bei der Wahl geeigneter Sanierungsverfahren eine Vielzahl maßgeblicher Entscheidungskriterien zu beachten, die sich auf technische, ökonomische und ökologisch-soziale Aspekte beziehen. Es ergibt sich somit auch auf Haltungsebene ein komplexes Entscheidungsproblem, das neben der „Vielzahl an Sanierungsverfahren“ auch auf die „finanzielle Einschränkung der Kommunen“, „die detaillierte Zustandserfassung von Abwasserkanälen durch Inspektion“ und die daraus resultierende Bewertung und Priorisierung der Schadensbehebung zurückzuführen ist.<sup>12</sup>

Entscheidungen, die im Wege der Sanierungsplanung zu treffen sind, werden daher zwangsläufig mit Anforderungen und entsprechenden Kriterien der Metaebene (Netzebene) wie der Mikroebene (Haltungsebene) konfrontiert.

---

<sup>11</sup> Die Begriffe Netzebene und Haltungsebene werden auch von *Schmidt* verwendet. [vgl. Schmidt (2009), S. 68]

<sup>12</sup> Vgl. Plenker (2003), S. 11

## 1.2 Problemstellung

Die bisherige Praxis beschäftigt sich im Wesentlichen mit der Behebung der dringendsten Schäden, die meist unter hohem Zeitdruck ausgeführt werden. Da diese sogenannte „Feuerwehrstrategie“ eine unplanmäßige, ereignisorientierte Handlung darstellt, die lediglich beim (teilweisen) Versagen des Systems durchgeführt wird, sollte dies nicht als strategisches Handeln angesehen werden.<sup>13</sup> Es handelt sich bei der Feuerwehrstrategie vielmehr um die Vernachlässigung der Pflichten zur ordnungsgemäßen Funktionserhaltung (Verfügbarkeit) und Substanzwerterhaltung von Kanalisationen.<sup>14</sup>

Die „Feuerwehrstrategie“ führt in ihrer Anwendung zu einer Missachtung gesetzlicher Vorgaben zum Umweltschutz. Da Schäden nicht präventiv vermieden, sondern korrektiv behoben werden, wird billigend in Kauf genommen, dass es neben dem Eintritt von Grundwasser (Infiltration) je nach Haltungsart auch zum umweltgefährdenden Austritt von Abwässern (Exfiltration) kommen kann (z.B. bei Mischwasserkanalisationen, insbesondere bei industriellen und gewerblichen Abwässern). Ferner kommt es auf lange Sicht zu einem Anstieg der Aufwendungen für den Unterhalt des Kanalnetzes, da sich unter fehlender Berücksichtigung der ganzheitlichen Systemzusammenhänge in einem Entwässerungsnetz die Schadensbeseitigung nur am Schadensfall orientiert und oftmals durch Ergreifen unzumutbarer Maßnahmen Symptome und nicht die Ursachen behandelt werden.<sup>15</sup> Der Einsatz von Sanierungsverfahren muss dementsprechend immer auf Nachhaltigkeit geprüft werden.

Das Optimierungspotential in der Sanierungsplanung bei Anwendung der „Feuerwehrstrategie“ liegt auf der Hand und wurde in der Vergangenheit intensiv in verschiedenen Forschungsberichten behandelt. Im Ergebnis der kritischen Auseinandersetzung mit der bisherigen Praxis steht die Forderung nach ganzheitlichen Lösungsansätzen, die alle hydraulischen, baulichen und umweltrelevanten Aspekte berücksichtigen. Beginnend mit der DIN EN 752-5:1997 und mit der Fortführung in der DIN EN 752:2008 ist in Wissenschaft und Fachwelt die Notwendigkeit eines ganzheitlichen Ansatzes der Sanierungsplanung erkannt worden. Diesen Anspruch gilt es noch einzulösen.

So wurde die Durchführung korrektiver Sanierungsmaßnahmen in der Vergangenheit oftmals in Unkenntnis der Datenbestände vorgenommen. Heute liegen jedoch bereits umfangreiche, detaillierte Datenbestände aus durchgeführten TV-Inspektionen vor, deren systematische Auswertung es grundsätzlich ermöglicht, eine langfristige Sanierungsplanung durchzuführen. Dem geforderten ganzheitlichen Ansatz der Planung kann durch Berücksichtigung der nach DIN EN 752:2008 geforderten hydraulischen, baulichen, betrieblichen und umweltrelevanten sowie betriebswirtschaftlichen Aspekte Rechnung getragen werden. Was letztere betrifft, so spielten sie bei den bisherigen Sanierungsplanungen, wenn überhaupt, nur eine geringe Rolle, obgleich der Zusammenhang zwischen ganzheitlichem Ansatz und der Kostenentwicklung nicht von der Hand zu weisen ist. „Eine

---

<sup>13</sup> Vgl. Wolf (2006), S. 16; Milojevic et al. (2005b), S. 72

<sup>14</sup> Vgl. Milojevic et al. (2005b), S. 72

<sup>15</sup> Vgl. Milojevic et al. (2005a), S. 13 f.

derartige ganzheitliche Betrachtungsweise [...] trägt aber zu einer Minimierung der Gesamtkosten wesentlich bei.<sup>16</sup> Auch können in einer laufenden Haushaltsperiode Finanzmittel eingespart werden, die an anderer Stelle des Entwässerungsnetzes wiederum eingesetzt werden können.

Die DWA-Umfrage 2009 zeigt, dass zwar eine „deutliche Tendenz zu höheren Investitionen“ durch die Kommunen im Bereich der Kanalsanierung erkennbar ist, trotzdem allerdings „keine Besserung des Gesamtzustandes“ zur Reduzierung des Instandhaltungsschadens und zum Erhalt des Substanzwertes eingetreten ist. „Es besteht weiterhin ein hoher Sanierungsbedarf.“<sup>17</sup>

Neben dem Sanierungsaufwand zur Wiederherstellung oder Verbesserung von vorhandenen Entwässerungssystemen für heute schadhafte Kanäle wird zusätzlich auf die Kommunen in Zukunft der notwendige Sanierungsaufwand für die zurzeit noch intakten Kanäle hinzukommen. Um diese Maßnahmen koordinieren und umsetzen zu können, ist es zwingend erforderlich, integrale (ganzheitliche) Lösungen zu nutzen, die die Anforderungen an ein Entwässerungsnetz unter Berücksichtigung heutiger und zukünftiger Bedingungen erfüllen.<sup>18</sup>

Unter Anforderungen an ein Entwässerungsnetz werden hierbei Kriterien verstanden, die als Entscheidungsgrundlage für die strategische Sanierungsplanung auf Netzebene und für die Wahl geeigneter Sanierungsverfahren auf Haltungsebene dienen. Die Vorgabe und Festlegung der Kriterien können aus verschiedenen Gründen hervorgehen und unterliegen je nach Randbedingungen eines Netzes (wie z.B. Zustand und Alter der Kanalisation, Gebietseigenschaften) einer unterschiedlichen Priorisierung und Gewichtung durch die jeweiligen Entwässerungsbetriebe. Davon ausgehend ist es zur besseren Koordinierung aktueller und zukünftiger Sanierungsmaßnahmen sinnvoll, bestehende Sanierungsplanungen zu prüfen und gegebenenfalls zu optimieren, um eine bessere Umsetzung des ganzheitlichen Konzeptes zu gewährleisten und das vorhandene Budget zielgerichteter einsetzen zu können.

### **1.3 Zielsetzung**

Unter Berücksichtigung der zahlreichen Aspekte einer ganzheitlichen Betrachtung ergibt sich ein multikriterielles Zielsystem, das bei der Sanierungsplanung eines Entwässerungsbetriebes sowohl auf Netzebene als auch auf Haltungsebene zu beachten ist. Da alle Entwässerungsnetze Unikate sind und die Betreiber auf Basis ihrer jeweiligen der zugrunde liegenden Anforderungen, Randbedingungen und Sanierungsziele zu unterschiedlichen Schwerpunktsetzungen (Prioritäten) in der Sanierungsplanung gelangen, resultiert mithin für jede Kommune aus dem multikriteriellen Zielsystem eine eigene individuelle Sanierungsplanung. Hierfür wird der Begriff „strategische Sanierungsplanung“ neu eingeführt.

---

<sup>16</sup> ebenda

<sup>17</sup> Vgl. Berger / Falk (2011), S. 3 und S. 14

<sup>18</sup> Vgl. DIN EN 752 (2008), S. 31 f.

Für das Entscheidungsmodell der strategischen Sanierungsplanung sind sämtliche relevanten technischen, ökologischen, ökonomischen und sozialen Kriterien auf Netzebene und Haltungsebene festzulegen und zu definieren. Die Kriterien auf Netzebene (wie z.B. Erhalt des Substanzwerts, Berücksichtigung der Maßnahmen anderer Infrastrukturbetriebe) fließen, unter zu Hilfenahme von „Grundstrategien“<sup>19</sup>, in die Entscheidungsfindung zur Wahl geeigneter Sanierungsverfahren auf operativer Ebene ein. Die Kriterien auf Haltungsebene (wie z.B. Schadensbild, direkte Kosten, Verkehrsbeeinträchtigung) beziehen sich in erster Linie auf die Wahl des bestgeeigneten baulichen Verfahrens zur Sanierung; um dem ganzheitlichen Ansatz in der Sanierungsplanung gerecht zu werden, müssen neben den baulichen auch hydraulische, betriebliche und umweltrelevante Aspekte berücksichtigt werden.

Zur Systematisierung dieser ganzheitlichen Sanierungsplanung muss jeweils auf Netzebene und auf Haltungsebene ein konsistenter Entscheidungsprozess konzipiert werden. Auf Netzebene bezieht sich dieser auf die Wahl geeigneter Grundstrategien und stellt für die Kommunen die Basis zur Festlegung übergeordneter Strategievorgaben dar. Auf Haltungsebene zielt ein entsprechender Entscheidungsprozess auf die Wahl des bestgeeigneten Sanierungsverfahrens.

Der Entscheidungsprozess auf Netzebene und Haltungsebene kann nur erfolgreich umgesetzt werden, wenn entsprechend der Sanierungsziele und der Anforderungen und Randbedingungen des Entwässerungsnetzes eine individuelle Priorisierung der Entscheidungskriterien durch die Kommune vorgenommen wird. Um die zahlreichen Kriterien widerspruchsfrei gewichten zu können, müssen als Grundlage für die individuelle Priorisierung die allgemeingültigen Korrelationen der Kriterien auf Netzebene und Haltungsebene analysiert und bewertet werden. Beim Prüfen der Wechselwirkungsbeziehung ist insbesondere die „Verträglichkeit“ der Kriterien innerhalb des Zielsystems von entscheidender Bedeutung; einzelne Kriterien dürfen sowohl auf Netzebene wie auch auf Haltungsebene nicht miteinander im Widerspruch stehen.

Betrachtet man abschließend die Kombination beider Entscheidungsprozesse (auf Netzebene und Haltungsebene), so kann für jede Kommune eine Matrix<sup>20</sup> aus Entscheidungskriterien auf Mikroebene (Haltungsebene) und Metaebene (Netzebene) gebildet werden, die unter Priorisierung einzelner Kriterien in eine individuelle Strategie zur Sanierungsplanung („strategische Sanierungsplanung“) mündet. Die Basisvariante eines vereinfachten Entscheidungsmodells ermöglicht es kleineren Kommunen, eine systematische Abwägung ihrer Planungsentscheidungen gegenüber verschiedenen Grundstrategien vorzunehmen.

Insgesamt setzt sich eine strategische Sanierungsplanung, die jede Kommune individuell für sich zu entwickeln hat, aus mehreren Ebenen zusammen. Neben den Sanierungszielen der Kommunen sind dies die individuellen Randbedingungen und Anforderungen eines Entwässerungsnetzes, die Grundstrategien der Sanierung und die operativen Aspekte auf Haltungsebene. Im Rahmen der strategischen Sanierungsplanung kann von einem mehrdimensionalen Ansatz gesprochen werden,

---

<sup>19</sup> Unter „Grundstrategien“ sind hier die Sanierungsstrategien nach DWA-M 143-14 (2005) gemeint.

<sup>20</sup> „Schema, in dem zusammenhängende Faktoren in ihrer Beziehung zueinander dargestellt werden“ [Definition nach Langenscheidt]

der eine „multikriterielle Sanierungsstrategie“ zur Bildung eines Strategieansatzes („Strategiemix“) auf Netzebene und eine „multikriterielle Verfahrenswahl“ als „operatives Instrument“ auf Haltungsebene zum Ergebnis hat.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Sanierungsplanung von Entwässerungsnetzen zu optimieren. Dieses Ziel wird in zweierlei Hinsicht verfolgt: Zum einen sollen die einzelnen Arbeitsschritte der individuellen Sanierungsplanung eines Entwässerungsbetriebes insgesamt verbessert werden. Zum anderen soll der multikriterielle Entscheidungsprozess selbst optimiert werden. Hierzu wird eine Entscheidungshilfe zur Wahl geeigneter Sanierungsverfahren vorgestellt.

Zur Umsetzung der Hauptziele müssen mehrere Unterziele erreicht werden. Neben der Entwicklung eines Entscheidungsprozesses zur Wahl von Grundstrategien auf Netzebene sollen die Korrelationen der Entscheidungskriterien auf Netzebene und zusätzlich die Auswirkungen auf die Kriterien auf Haltungsebene analysiert werden. Darüber hinaus soll eine Analyse und Bewertung der multikriteriellen Bewertungsverfahren vorgenommen werden. Es soll dasjenige Bewertungsverfahren gewählt werden, das die Entscheidungsprobleme in der Sanierungsplanung am besten abbildet und vor allem ein optimales Ergebnis bei der Wahl geeigneter Sanierungsverfahren zur operativen Sanierungsplanung erzielt.

## 1.4 Vorgehensweise

Im **einleitenden Kapitel** wurde eine thematische Einordnung der vorliegenden Arbeit durch Erläuterung der Ausgangssituation und der Problemstellung vorgenommen. Zielsetzung und Vorgehensweise sollen das Verständnis für die Arbeit abrunden.

Im **Kapitel 2** werden Grundlagen der Themenstellung behandelt. Neben der Definition und Erläuterung einiger grundlegender Begriffe werden auch die Vorschriften und rechtlichen Rahmenbedingungen der Sanierungsplanung von Entwässerungsnetzen vorgestellt, deren Regelwerke in dieser Arbeit mehrfach zitiert werden.

Darüber hinaus wird in diesem Kapitel eine Übersicht über den aktuellen Zustand der Kanalisation, den grundlegenden Aufbau einer Kanalisation und die verwendeten Werkstoffe gegeben. Auch die häufigsten Schadensarten werden benannt und deren Häufigkeit und Bedeutung im Kontext erläutert, wobei auch auf die Ursachen und Auswirkungen der Schäden mit Bezug auf die Verwendung unterschiedlicher Werkstoffe und Querschnitte eingegangen wird.

Im **Kapitel 3** wird das Thema Instandhaltung von Kanalisationen ausgeführt. Hierbei wird zunächst eine Abgrenzung der Begriffe Instandhaltung und Sanierung vorgenommen. Der Instandhaltung zuzurechnen ist die Kanalinspektion, deren Vorgehensweise anschließend erläutert wird. In diesem Zusammenhang wird das System der Zustandsbeurteilung mit den Elementen der Klassifizierung und Bewertung von Schäden vorgestellt. Diese führt im Ergebnis zu einer baulichen „Prioritätenliste“, aus der die Sanierungsdringlichkeit abgeleitet werden kann. Zur Sanierung der Schäden stehen zahlreiche Verfahren zur Reparatur, Renovierung oder Erneuerung der Haltungen zur Verfügung.

Im **Kapitel 4** widmet sich die Arbeit den Aspekten Sanierungsplanung und Sanierungsstrategie. Im ersten Abschnitt wird der Begriff „strategische Sanierungsplanung“ entwickelt und seine Bestandteile erläutert. Im zweiten Abschnitt wird der Gedanke der ganzheitlichen Sanierungsplanung mit ihren ganzheitlichen Lösungsansätzen entwickelt. Unter Berücksichtigung der verschiedenen Sanierungsziele, die einer generellen Sanierungsplanung zugrunde liegen, wird darüber hinaus auch auf das „integrale Kanalmanagement“ nach DIN EN 752 eingegangen.

Als Basis einer ganzheitlichen Sanierungsplanung werden zunächst Zielkriterien auf Netzebene und Haltungsebene definiert, die als Entscheidungsgrundlage einer strategischen Sanierungsplanung anzusehen sind. Auf Netzebene resultieren die Kriterien aus den einzelnen Grundstrategien, auf Haltungsebene handelt es sich hierbei um die Entscheidungskriterien zur Wahl von Sanierungsverfahren.

Im Zuge der Strategiebetrachtung auf Netzebene werden die Grundstrategien nach DWA-M 143-14 erläutert und es wird ein Überblick über weitere Strategieelemente gegeben. Auf Haltungsebene wird der Stand der Technik der Methoden, Leitfäden und Hilfestellungen zur Wahl des bestgeeigneten Sanierungsverfahrens dargelegt.

Im **Kapitel 5** werden zu Beginn ausführlich die Grundlagen der Entscheidungstheorie behandelt. Durch die Vielzahl vorhandener Entscheidungskriterien werden Entscheidungsmodelle mit mehreren Zielsetzungen als multikriterielle Entscheidungs- und Zielsysteme dargestellt. Zur methodischen Unterstützung der Entscheidungsfindung in der Sanierungsplanung werden verschiedene Bewertungsmodelle anhand eines einfachen Beispiels beschrieben und analysiert.

Aufbauend auf den in Kapitel 2 bis 4 behandelten wesentlichen Grundlagen der Instandhaltung, der Sanierungsplanung und der Grundstrategien wird im **Kapitel 6** das Optimierungspotential in der Sanierungsplanung entwickelt. Im Wesentlichen betrifft dies die Verbesserung der einzelnen Arbeitsschritte, insbesondere die Analyse von Strategieansätzen, die Bewertung und Verbesserung methodischer Ansätze zur Wahl geeigneter Sanierungsverfahren auf Haltungsebene und die Verknüpfung beider Aspekte.

Im ersten Schritt wird hierzu ein Entscheidungsprozess zur Wahl von Grundstrategien dargestellt. Im Weiteren werden die Auswirkungen der Grundstrategien zueinander aber auch in Bezug auf die Entscheidungskriterien zur Wahl geeigneter Sanierungsverfahren auf Haltungsebene untersucht und bewertet. So kann eine Verknüpfung zwischen Netzebene und Haltungsebene hergestellt und dadurch eine Optimierung durch strategische Sanierungsplanung erzielt werden.

Des Weiteren wird für die im Kapitel 5 beschriebenen Entscheidungsmodelle eine vergleichende Bewertung mit Vor- und Nachteilen vorgenommen. Im Ergebnis wird eine (modifizierte) Modellstruktur festgelegt, die die verschiedenen Elemente im multikriteriellen Zielsystem in der Sanierungsplanung widerspiegelt und sich für das Entscheidungsproblem bei der Sanierungsplanung kommunaler Entwässerungsnetze am besten eignet. Die Wahl der Methode wird ausführlich begründet.

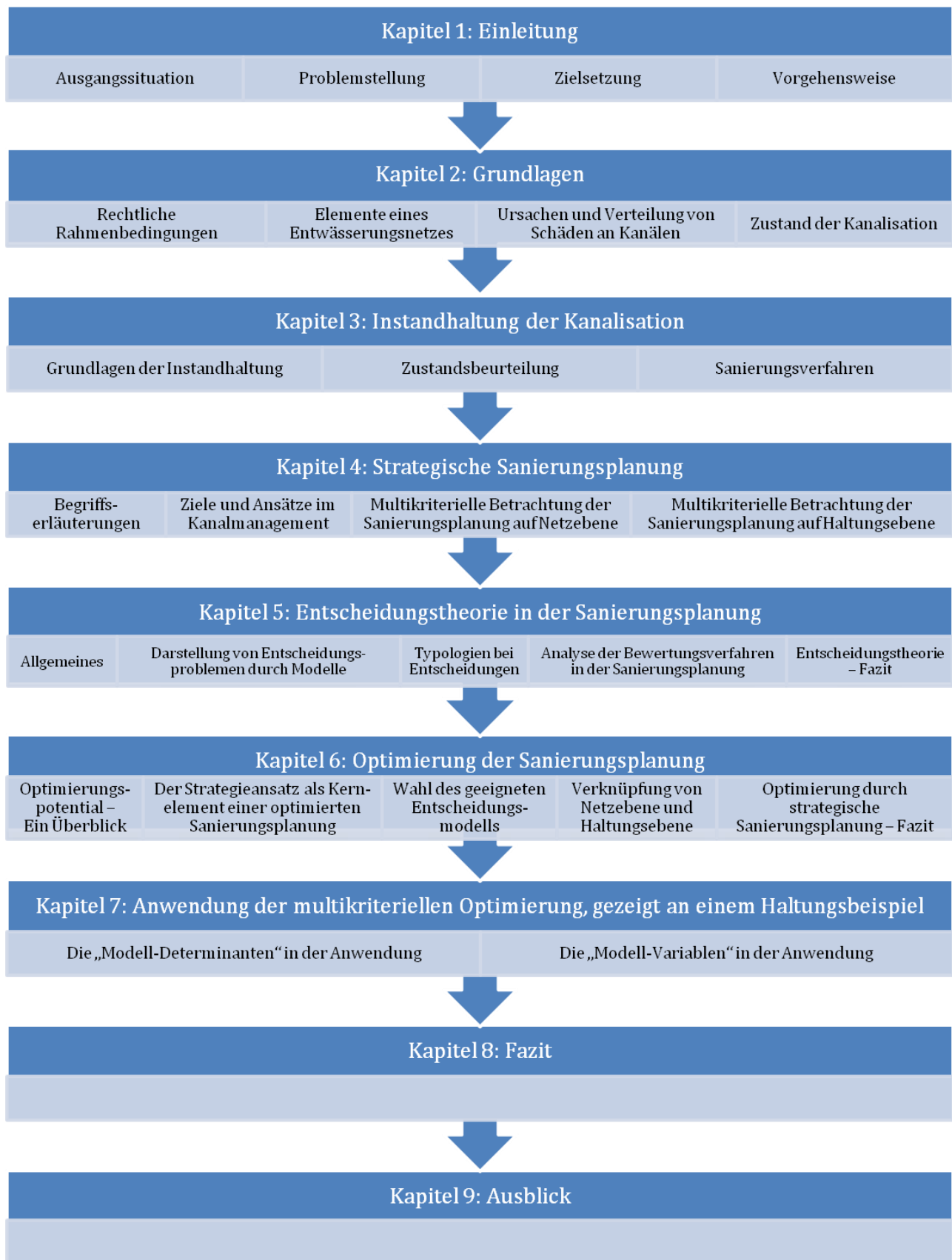
Abschließend lässt sich eine optimierte individuelle strategische Sanierungsplanung auf Grundlage einer multikriteriellen Sanierungsstrategie bestimmen, wobei die Auswirkungen des gewählten

Strategiemix auf die Wahl geeigneter Sanierungsverfahren auf Haltungsebene eine entscheidende Rolle einnimmt.

**Kapitel 7** wendet die im Kapitel 6 entwickelten Optimierungsansätze auf ein Haltungsbeispiel an. Das gewählte Bewertungsmodell lässt sich hinsichtlich Aufbau und Vorgehensweise in „Modell-Determinanten“ und „Modell-Variablen“ unterteilen. Es gibt starre Elemente in der Vorgehensweise, die keine Individualität aufweisen, da sie für jedes beliebige Entwässerungsnetz gleichermaßen gelten. Diese Elemente bilden das „Korsett“ des Modells, wohingegen die Elemente, die in jedem Entwässerungsnetz unterschiedliche, individuelle Aspekte aufweisen, als „Modell-Variablen“ bezeichnet werden.

Im **Kapitel 8** werden die Erkenntnisse der vorangegangenen Abschnitte zusammengefasst und beurteilt.

Die Arbeit schließt im **Kapitel 9** mit einem Ausblick auf anzuknüpfende Bearbeitungsansätze und weitere Forschungsschwerpunkte.



**Abbildung 1-01:** Flussdiagramm „Vorgehensweise“



## 2. Grundlagen

### 2.1 Rechtliche Rahmenbedingungen

#### 2.1.1 Hierarchie der Rechtsnormen

Mit ihrem System der gemeinschaftlichen Rechtsetzung hat sich die Europäische Union die Möglichkeit geschaffen, in die nationale Rechtsordnung ihrer Mitgliedsstaaten einzuwirken. Dies geschieht insbesondere durch Verordnungen und Richtlinien. Die Verordnung greift am stärksten in nationales Recht ein, indem sie unmittelbar anwendbar und in allen Teilen verbindlich ist. Die Richtlinie ist hinsichtlich des festgelegten Ziels verbindlich und verpflichtet die Mitgliedsstaaten, ihr Recht entsprechend anzupassen. Der dabei eingeräumte Spielraum in der sachlichen Ausgestaltung der nationalen Rechtsakte wird insbesondere beim Umweltschutz eng gehalten.<sup>21</sup>

In diesem Politikfeld wurde im Jahre 2000 die „Richtlinie 2000/60/EG zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik“, kurz: EG-Wasserrahmenrichtlinie<sup>22</sup> (WRRL) erlassen. Im Fall der Abwasserbeseitigung ist sie die wichtigste europäische Norm. Der angestrebte chemische und ökologische Zustand der Gewässer soll bis zum Jahre 2015 erreicht werden, wobei allerdings Verlängerungen dieses Zeitrahmens (zwei um jeweils sechs Jahre), aber auch Ausnahmeregelungen und Zielreduzierungen unter bestimmten Voraussetzungen vorgesehen sind.<sup>23</sup>

Es steht außer Frage, dass dieses ambitionierte Ziel ohne eine gezielte Abwasserbeseitigung und Abwasserreinigung auf der Grundlage systematischer Konzepte der Wasserbewirtschaftung nicht erreicht werden kann. Die Umsetzung der WRRL erfolgt in Deutschland auf Ebene der Bundesgesetzgebung. Im Wasserhaushaltsgesetz (WHG) wurde bisher der rechtliche Rahmen für den Spielraum der Landeswassergesetze (LWG) der Bundesländer vorgegeben. Um das Wasserrecht zu vereinheitlichen und neue EU-Richtlinien schneller in nationales Recht umsetzen zu können, wird das alte Rahmengesetz<sup>24</sup> durch Vollregelungen ersetzt, welche in die Landeswassergesetze zu überführen sind. Das neue Wasserhaushaltsgesetz<sup>25</sup> ist am 01.03.2010 in Kraft getreten. Die Bundesländer haben weiterhin Spielraum, abweichende Regelungen zu treffen, soweit es sich nicht um stoff- oder anlagenbezogene Regelungen handelt. Eine anlagenbezogene Regelung enthält bei-

<sup>21</sup> Vgl. Europäische Union (2012), Internetportal abgerufen am 23.10.2012, Stand: Dezember 2010

<sup>22</sup> Vor dem Vertrag von Lissabon im Jahre 2009 erlassene Richtlinien der Europäischen Gemeinschaft behalten die Kennzeichnung als EG-Richtlinie.

<sup>23</sup> Vgl. UBA (2012), Internetportal abgerufen am 23.10.2012, Stand: August 2010

<sup>24</sup> „Ein Rahmengesetz ist ein Gesetz, das den jeweiligen Rechtsbereich nicht vollständig regelt. [...] Nach deutschem Recht waren Rahmengesetze Bundesgesetze, die nur die wesentlichen Grundzüge regelten und die Detailregelungen [...] der Gesetzgebung der einzelnen Länder überließen. Hintergrund ist die Aufteilung von Gesetzgebungsbefugnissen zwischen Bund und Ländern im deutschen Verfassungsrecht“  
Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Rahmengesetz>; abgerufen am 16.05.2011

<sup>25</sup> Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts

spielsweise § 60 Abs. 1 des WHG, nach welchem Abwasseranlagen den allgemein anerkannten Regeln der Technik zu entsprechen haben.<sup>26</sup>

Die Landeswassergesetze, die früher den rechtlichen Rahmen des WHG ausgefüllt und konkretisiert haben, werden auch weiterhin detailliertere Regelungen als das Wasserhaushaltsgesetz enthalten; viele Sachverhalte bleiben weiterhin im WHG unkonkret geregelt. Die Festlegung von Einzelheiten, wie z.B. die Rechtsform der Abwasserbeseitigung, obliegt den Kommunen und Gemeinden. Sie erfolgt in entsprechenden Satzungen und Verordnungen. Als Beispiele hierfür sind die Betriebssatzung, die Entwässerungssatzung und die Entgeltsatzung zu nennen. Die genaue Bezeichnung der Satzungen kann von Kommune zu Kommunen variieren.<sup>27</sup>

### 2.1.2 Abwasserbeseitigungspflicht

Die Grundsätze der Abwasserbeseitigung sind in § 55 Abs. 1 des Wasserhaushaltsgesetzes festgelegt: „Abwasser ist so zu beseitigen, dass das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt wird.“ Welche Körperschaft des öffentlichen Rechts zur Abwasserbeseitigung verpflichtet ist, obliegt nach § 56 des WHG den Ländern. In Rheinland-Pfalz z.B. sind nach § 52 Abs. 1 des Landeswassergesetzes die kreisfreien Städte, die verbandsfreien Gemeinden und die Verbandsgemeinden für den Bau und den Betrieb der erforderlichen Anlagen verantwortlich und demnach **verpflichtet**, das auf ihrem Gebiet anfallende **Abwasser ordnungsgemäß zu beseitigen**.

### 2.1.3 Anschluss- und Benutzungszwang

Da die Verbandsgemeinden nur ihrer Pflicht zur Abwasserbeseitigung nachkommen können, wenn alle Grundstücke an die Abwasseranlagen angeschlossen sind und das anfallende Abwasser auch in diese abgegeben wird, besteht in Deutschland allgemein **Anschluss- und Benutzungszwang** an die öffentlichen Abwasseranlagen. Dieser Grundgedanke ist in § 52 Abs. 4 des LWG verankert. Beseitigungspflichtige sind diejenigen, bei denen das Abwasser anfällt. Wobei das Abwasser über die zur Abwasserbeseitigung bestimmten Anlagen abzuleiten ist.

In der Gemeindeordnung (GemO) wird dieser Grundgedanke in § 26 dahingehend konkretisiert, dass Gemeinden bei öffentlichem Bedürfnis für die Grundstücke auf ihrem Gebiet einen Anschluss- und Benutzungszwang für Abwasseranlagen durch Satzung festlegen dürfen. In der Entwässerungssatzung z.B. der Stadt Kaiserslautern ist der Anschluss- und Benutzungszwang in § 10 Abs. 1 geregelt: „Der Anschlussberechtigte ist verpflichtet, sein Grundstück, sofern es bebaut ist, an die Abwasseranlage anzuschließen (**Anschlusszwang**) und diese zu benutzen (**Benutzungszwang**).“

---

<sup>26</sup> Vgl. Herrig (2010), S. 18

<sup>27</sup> ebenda

### 2.1.4 Sanierungspflicht

Bei Maßnahmen, mit denen Einwirkungen auf ein Gewässer verbunden sein können, ist jede Person verpflichtet, eine erforderliche Sorgfalt anzuwenden, um eine nachhaltige Veränderung der Gewässereigenschaften zu vermeiden. Diese sogenannte **Sorgfaltspflicht** ist eine der grundsätzlichen Pflichten, die im Wasserhaushaltsgesetz (§ 5 Abs. 1 WHG) genannt werden.

Darüber hinaus sind nach § 60 Abs. 1 WHG Abwasseranlagen so zu errichten, zu betreiben und zu unterhalten, dass sie den allgemein anerkannten Regeln der Technik genügen und die Anforderungen an die Abwasserbeseitigung eingehalten werden. Da schadhafte Kanäle nicht den anerkannten Regeln der Technik entsprechen, resultiert hieraus bereits eine Form der Sanierungspflicht. Durch den ergänzenden Zusatz „Anforderungen an die Abwasserbeseitigung“ hält sich der Gesetzgeber die Möglichkeit offen, über die aktuellen Technikstandards hinausgehende Anforderungen zu stellen. In § 60 Abs. 2 WHG wird die Sanierungspflicht konkret geregelt: „Entsprechen vorhandene Abwasseranlagen nicht den Anforderungen nach Abs. 1, so sind die erforderlichen Maßnahmen innerhalb angemessener Fristen durchzuführen.“ Nach § 52 Abs. 1 Wassergesetz für das Land Rheinland-Pfalz (LWG RLP) haben Abwasserbeseitigungsanlagen ebenfalls den anerkannten Regeln der Technik zu entsprechen. Jedoch enthält das LWG RLP keine eindeutige Aufforderung zur Sanierung wie im § 60 WHG. Dies liegt vorwiegend an der fehlenden Überführung des neuen WHG in die Landeswassergesetze (so auch in Rheinland-Pfalz).

Im Zuge der Sanierungspflicht ist eine regelmäßige Kontrolle der Abwasserbeseitigung unabdingbar. Zum einen muss ein Nachweis über die Einhaltung der „Anforderungen“ erbracht werden und zum anderen dient die Kontrolle als Grundlage einer wirtschaftlichen Planung. Nach § 61 Abs. 2 WHG ist der Betreiber einer Abwasseranlage zur Überwachung und Dokumentation des Zustandes, der Funktionsfähigkeit, der Unterhaltung und des Betriebs verpflichtet. In den Landesgesetzen wird dieser Aspekt konkretisiert. Demnach fordert z.B. die Landesverordnung über die Eigenüberwachung von Abwasseranlagen (EÜVOA) Rheinland-Pfalz in § 4 regelmäßige Überprüfungen der Abwasseranlagen. Der Zustand von Abwasserkanälen ist **mindestens alle 10 Jahre** durch optische Prüfung, Begehung oder Kamerabefahrung, festzustellen. Bei neuen oder neuwertigen Abwasserkanälen und -leitungen sind die ersten **Inspektionsprüfungen** nach der Inbetriebnahme erst nach **15 Jahren** durchzuführen.

Die Ergebnisse der Inspektionsprüfungen bezüglich Art, Ausmaß und Lage der Schäden, aber auch die Wahl geeigneter Sanierungsmaßnahmen sind nach Dringlichkeit der Sanierung eingestuft in einem Betriebstagebuch festzuhalten [EÜVOA RLP §5, 2006]. Die festgestellten Schäden sind durch geeignete Sanierungsmaßnahmen zu beseitigen. Die EÜVOA RLP ist für alle Abwasserbeseitiger verpflichtend, da sie Abwasser „erlaubnispflichtig“<sup>28</sup> in ein Gewässer oder dem Grunde nach „genehmigungspflichtig“ in öffentliche Abwasseranlagen einleiten.<sup>29</sup> Nach § 11 Abs. 1 Eigenbe-

<sup>28</sup> § 57 WHG und § 1 EÜVOA RLP

<sup>29</sup> Das Einleiten von Abwasser in öffentliche Abwasseranlagen wird nach § 58 WHG Abs. 1 und § 55 Abs. 1 LWG RLP als Indirekteinleitung bezeichnet und bedarf der Genehmigung durch die Wasserbehörde, die für die Zulassung der Gewässerbenutzung zuständig ist.

triebs- und Anstaltenverordnung (EigAnVO) wird explizit von den Eigenbetrieben und Anstalten gefordert, für die dauernde technische und wirtschaftliche Leistungsfähigkeit zu sorgen; insbesondere sind alle notwendigen Instandhaltungsarbeiten rechtzeitig durchzuführen. Bei undichten Anschlüssen und schadhaften Rohren, welche zwar den Boden und das Grundwasser verunreinigen, meist aber nicht direkt die Leistungsfähigkeit des Abwassernetzes beeinträchtigen, besteht Interpretationsspielraum, ob die Anforderungen der EigAnVO dennoch eingehalten sind.

Das Strafgesetzbuch (StGB) hingegen legt präzise die Sachverhalte fest. Das Verunreinigen von Grundwasser durch undichte Kanäle ist ein Straftatbestand nach § 324 StGB. In jedem Fall erfolgt durch undichte Kanäle mindestens eine Verunreinigung des Bodens, die nach § 324a ebenfalls einen Straftatbestand darstellt. Zwar verunreinigen die Kommunen das Grundwasser oder den Boden nicht vorsätzlich, jedoch können sie sich der Unterlassung nach § 13 StGB („Begehen durch Unterlassen“) strafbar machen, wenn gegen die Boden- oder Gewässerverunreinigung keine Maßnahmen ergriffen werden. In solchen Fällen drohen Freiheitsstrafen von bis zu fünf Jahren oder Geldstrafen. Dass für ein Vergehen solcher Tragweite dasselbe Strafmaß angesetzt ist wie für Diebstahl<sup>30</sup>, zeigt die Signifikanz des Umweltschutzes für den Gesetzgeber.

Um sich demzufolge nicht durch Unterlassung strafbar zu machen, müssen die Kommunen nach Feststellung der Schäden im Zuge der Inspektion ohne schuldhaftes Zögern geeignete Gegenmaßnahmen ergreifen. Da allerdings die Kommunen meist weder die technischen noch die finanziellen Mittel besitzen, alle Schäden des Entwässerungsnetzes mit kurzfristigem Sanierungsbedarf<sup>31</sup> zeitnah zu beheben, kann der Vorwurf der Unterlassung von den Kommunen lediglich durch Erarbeiten eines geeigneten Sanierungskonzeptes entkräftet werden. Das Sanierungskonzept müsste orientiert an der Sanierungsdringlichkeit in Form einer Prioritätenliste mit einem Zeitplan auszuführender Maßnahmen erstellt werden. Entsprechende Ausgaben der Umsetzung müssten im Haushalt eingeplant werden.<sup>32</sup>

### **2.1.5 Erhebung von Abgaben**

Nach § 3 Abs. 1 Gemeindeordnung in Rheinland-Pfalz (GemO) wird den Gemeinden zur Erfüllung eigener und übertragener Aufgaben das Recht zur Erhebung eigener Abgaben eingeräumt. Die Voraussetzungen der Vorhaltung und der Benutzung ihrer Abwasserbeseitigungseinrichtungen regeln die Gemeinden gemäß § 52 Abs. 3 LWG in entsprechenden Satzungen. Hierzu zählt neben dem Anschluss- und Benutzungszwang auch die Erhebung von Gebühren zur Abwasserbeseitigung.

---

<sup>30</sup> Vgl. § 242 StGB

<sup>31</sup> Als kurzfristig sanierungsbedürftig werden Schäden der Zustandsklasse 0 und 1 angesehen.

<sup>32</sup> Vgl. Herrig (2010), S. 21

### 2.1.6 Rechtsformen der Institute

Die hoheitliche Aufgabe der Abwasserentsorgung kann in unterschiedlichen Betriebsformen wahrgenommen werden:<sup>33</sup>

#### Regiebetrieb

Regiebetriebe sind rechtlich unselbständige Anstalten des öffentlichen Rechts. Ihre rechtlichen Handlungen werden der jeweiligen Gebietskörperschaft zugerechnet. Sie sind rechtlich und organisatorisch Teil der Kommunalverwaltung. Regiebetriebe besitzen weder ein abgegrenztes Betriebsvermögen noch ein eigenes Rechnungswesen. Sie sind hingegen mit allen Einnahmen und Ausgaben im Haushalt der kommunalen Gebietskörperschaft veranschlagt. Die Einflussnahme der Gebietskörperschaft ist bei dieser Organisationsform jederzeit und umfassend gewährleistet. Auf kommunaler Ebene kommt der Regiebetrieb als Betriebsform praktisch nicht mehr vor. Er ist vielerorts durch den Eigenbetrieb verdrängt worden.<sup>34</sup>

#### Eigenbetrieb

Eigenbetriebe sind wie die Regiebetriebe rechtlich unselbständige Anstalten des öffentlichen Rechts. Im Gegensatz zu den Regiebetrieben stellt ein Eigenbetrieb jedoch ein Sondervermögen der Gebietskörperschaft dar. Eigenbetriebe sind daher organisatorisch und finanzwirtschaftlich aus der Gemeindeverwaltung ausgegliedert. Sie besitzen somit das Vorschlagsrecht zur Gebührengestaltung, ein eigenes Betriebsvermögen sowie ein eigenes Rechnungswesen. Die Ausgestaltung der Rechtsverhältnisse und der Autonomie eines Eigenbetriebs erfolgt in der Betriebssatzung. Auf Grund der rechtlichen Unselbständigkeit ist für grundsätzliche Entscheidungen der jeweilige Gemeinderat und für grundsätzliche Rechtsgeschäfte der jeweilige Hauptverwaltungsbeamte zuständig. Die Einflussnahme der Gebietskörperschaft ist bei dieser Organisationsform in eingeschränkter Form, d.h. nur bei grundsätzlichen Entscheidungen gegeben.<sup>35</sup>

#### Anstalt des öffentlichen Rechts

„Die Anstalt des öffentlichen Rechts (AdöR, AöR) ist eine mit einer öffentlichen Aufgabe betraute Institution, deren Aufgabe ihr gesetzlich oder satzungsmäßig zugewiesen worden ist. Ihre meist staatlichen oder kommunalen Aufgaben werden in ihrer Satzung festgelegt. Sie bündelt sachliche Mittel (Gebäude, Einrichtung, Fahrzeuge usw.) und Personal (Planstellen für Beamte und Arbeitnehmer) in einer Organisationseinheit. Überwiegend ist die Anstalt öffentlichen Rechts rechtlich selbstständig, mithin juristische Person des öffentlichen Rechts.“<sup>36</sup>

Im Unterschied zu Regie- und Eigenbetrieben sind Anstalten des öffentlichen Rechts rechtsfähig, da sie aufgrund von Gesetzen zur Erfüllung öffentlicher Aufgaben errichtete Institutionen sind. Sie

<sup>33</sup> Vgl. Gabler (2004), S. 789, S. 2213 f., S. 2508 f.; vgl. Haussmann (1995), S. 16 ff.

<sup>34</sup> Vgl. Herrig (2010), S. 22

<sup>35</sup> Vgl. a. a. O., S. 23

<sup>36</sup> Vgl. <http://de.wikipedia.org>, Stichwort: Anstalt des öffentlichen Rechts, abgerufen am 15.09.2012

können hoheitlich handeln und unter anderem Verwaltungsakte erlassen, indem sie z.B. im Rahmen ihrer Zuständigkeit einen Anschluss- und Benutzungszwang vorschreiben und die Gebühren festlegen. Die Regelung der Rechtsverhältnisse einer solchen Anstalt erfolgt per Satzung. Der öffentlich rechtliche Träger (im Falle der Entwässerung die Kommune) ist verpflichtet, die Anstalt mit den zur Erfüllung ihrer Aufgaben notwendigen finanziellen Mitteln auszustatten. Außerdem haften die Gemeinden für die Verbindlichkeiten der Anstalt, sofern diese nicht aus dem Anstaltsvermögen gedeckt werden können.<sup>37</sup>

### Zweckverband<sup>38</sup>

Ein Zweckverband ist ein „Zusammenschluss von Gemeinden und Gemeindeverbänden zur gemeinsamen Erfüllung bestimmter Aufgaben, zu deren Durchführung sie berechtigt oder verpflichtet sind“. Der Zweckverband ist die bekannteste und häufigste Form der interkommunalen Kooperation. „Zweckverbände sind Körperschaften des öffentlichen Rechts mit Selbstverwaltung [...]“. Der Umfang ihrer Selbstverwaltung wird in der Satzung (Zweckverbandssatzung) festgelegt. Dort sind auch die Mitglieder, die Aufgaben und die Finanzierung geregelt. „[...] die eigentliche Aufgabewahrnehmung (z.B. Versorgungsaufgabe) wird von einem Tochterunternehmen des Zweckverbands in privatrechtlicher Form wahrgenommen. [...]“. Die Einflussnahme der Mitglieder erfolgt über die Zweckverbandsversammlung.

### Grafische Zusammenfassung

Regiebetrieb	Eigenbetrieb	Anstalt des öffentlichen Rechts	Zweckverband
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teil der Gemeindeverwaltung</li> <li>• Teil des Gemeindehaushaltes</li> <li>• rechtlich unselbständig</li> <li>• direkte Einflussnahme möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sondervermögen der Gemeinde</li> <li>• eigenes Rechnungswesen</li> <li>• rechtlich unselbständig</li> <li>• grobe Einflussnahme möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• eigenständig</li> <li>• eigenes Rechnungswesen</li> <li>• rechtlich selbständig</li> <li>• Einflussnahme nur durch Satzungsänderung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• eigenständig</li> <li>• eigenes Rechnungswesen</li> <li>• rechtlich selbständig</li> <li>• Einflussnahme über die Zweckverbandsversammlung möglich</li> </ul>

**Abbildung 2-01:** Übersicht der Rechtsformen zur Abwasserbeseitigung<sup>39</sup>

<sup>37</sup> Vgl. Herrig (2010), S. 23

<sup>38</sup> Vgl. Gabler (2004), S. 3471 f.

<sup>39</sup> aus Herrig (2010), S. 24

## 2.2 Elemente eines Entwässerungsnetzes

### 2.2.1 Aufbau

Das Entwässerungsnetz ist ein Teil des übergeordneten Entwässerungssystems. Dienen **Entwässerungssysteme** allgemein der Sammlung und Ableitung von Abwasser, wird als **Entwässerungsnetz** die Gesamtheit der Kanäle, Abwasserdruckleitungen und zugehörigen Bauwerke in einem Entwässerungsgebiet definiert.<sup>40</sup> Man kann hierbei auch von der so genannten „**Netzebene**“ sprechen.

Da **Abwasserleitungen** zur Ableitung von Abwasser von der Anfallstelle zum Abwasserkanal die Entwässerung im privaten Grundstücksbereich bezeichnen, wird unter **Abwasserkanälen** als Bestandteil der Entwässerungsnetze die öffentliche Entwässerung verstanden. Es handelt sich bei Entwässerungsnetzen somit um die Entwässerung im öffentlichen Zuständigkeitsbereich.

Das Entwässerungsnetz besteht demnach aus:

- Abwasserkanälen (Sammler), welche das Abwasser von der Einleitstelle an den Hausanschlüssen zur Kläranlage transportieren. Abwasserkanäle können Regenwasserkanäle, Schmutzwasserkanäle oder Mischwasserkanäle sein.
- Anschlusskanälen, den Kanälen zwischen dem öffentlichen Abwasserkanal und der Grundstücksgrenze bzw. der ersten Reinigungsöffnung auf dem Grundstück. Die Festlegung des Zuständigkeitsbereichs erfolgt in der Entwässerungssatzung.
- Bauwerken wie Schächten, Regenüberlaufbauwerken, Einlaufbauwerken (Straßenabläufe) u.a.

Die Abwasserkanäle als Bestandteil des Entwässerungsnetzes sind in einzelne **Haltungen** aufgeteilt. Als Haltung versteht man die "Strecke eines Abwasserkanals [...] zwischen zwei Schächten und/oder Sonderbauwerken."<sup>41</sup> Ein **Schacht** ist ein "Einstieg mit abnehmbarem Deckel, angebracht auf einer Abwasserleitung oder einem Abwasserkanal, um den Einstieg von Personen zu ermöglichen"<sup>42</sup>; er dient als Ein- und Ausstieg aus einer Haltung. In die Haltungen werden die einzelnen Hausanschlüsse eingebunden. Man kann in diesem Zusammenhang auch von der so genannten „**Haltungsebene**“ sprechen.

Die Unterscheidung zwischen privatem und öffentlichem Entwässerungssystem ist eine Besonderheit der unterirdischen Infrastruktur. Die Zuständigkeit für die öffentlichen Leitungen liegt bei dem Eigenbetrieb, dem Regiebetrieb oder der Anstalt des öffentlichen Rechts einer Kommune, die der privaten Leitungen bei den privaten Grundstückseigentümern. Aus technischer Sicht müssen die Entwässerungssysteme allerdings als **Funktionseinheit** betrachtet werden, die vom Gebäude auf

<sup>40</sup> Vgl. DIN EN 752 (2008), S. 15, S. 17

<sup>41</sup> Vgl. DIN 4045 (2003), S. 33

<sup>42</sup> Vgl. DIN EN 752 (2008), S. 11

dem Grundstück bis zum Auslauf der öffentlichen Kläranlage reicht. Durch die Trennung der rechtlich begründeten Zuständigkeiten und damit einhergehenden Pflichten für die Sanierung der privaten und öffentlichen Leitungen wird diese technische Systemeinheit „aufgelöst“.

### 2.2.2 Querschnitte

Die wichtigsten Querschnittsformen von Kanälen und Leitungen sind nach DIN 4263:2011 genormt. Der Kreis-, der „normale“ Eiquerschnitt und der „normale“ Maulquerschnitt werden demnach als Regelformen bezeichnet. Sie stellen den größten Anteil der in Deutschland verwendeten Kanalquerschnitte dar, andere Profile werden nur in Sonderfällen verwendet.

Der **Kreisquerschnitt** wird bevorzugt verwendet, da er hydraulisch günstige Eigenschaften aufweist und insbesondere fertigungstechnisch wirtschaftliche Vorteile bietet. Nach DIN 4263:2011 ist er für Nennweiten von DN 40 bis DN 4000 genormt, wodurch mit dem Kreisquerschnitt das komplette Leitungsspektrum von der Grundstücksentwässerung bis zum Hauptsammler abgedeckt werden kann. Bei Trockenwetterabfluss können bei Kreisquerschnitten bei niedrigen Fließgeschwindigkeiten und damit niedrigen Schleppspannungen Ablagerungen auftreten.

Der **Eiquerschnitt** eignet sich besonders bei stark schwankenden Abflüssen, z.B. bei Mischwasserkanälen mit kleinen Trockenwetterabflüssen. Er bietet durch eine geringere Ablagerungsgefahr betriebliche und durch seine Form statische Vorteile, weswegen er in den letzten Jahren wieder häufiger verwendet wird. Der kleinste genormte normale Eiquerschnitt ist 300/450 (b/h), der größte 1400/2100.<sup>43</sup> Die Größe des Eiquerschnitts wird über die Breite und Höhe in mm ohne Verwendung der Einheit angegeben.

**Maulquerschnitte** bieten Vorteile bei großen Abflüssen und eingeschränkter Bauhöhe. Sie sind statisch günstig, da ihre Form der Stützlinie folgt. Für erschließende Kanalhaltungen der Mischkanalisation mit Hausanschlüssen eignen sie sich kaum, da durch ihre flache Grundlinie die Ablagerungsgefahr bei Trockenwetterabfluss sehr groß ist. Der kleinste genormte normale Maulquerschnitt ist 1600/1200 (b/h), der größte 4000/3000.<sup>44</sup> Die Größe des Maulquerschnitts wird über die Breite und Höhe in mm ohne Verwendung der Einheit angegeben.

### 2.2.3 Werkstoffe

**Steinzeugrohre** gehören zu den ältesten Fertigteilen in der Bauausführung von Kanalisationen. Sie bestehen aus Ton und Schamotten und werden bis zur Sinterung dichtgebrannt. Die vor dem Brennen aufgetragene Glasurmasse verschmilzt während des Brennprozesses mit dem Scherben und bildet eine sehr glatte Fläche. Diese verbessert die hydraulischen Eigenschaften, vermindert die Ablagerungsgefahr und kann nicht durch Wasser- oder Dampfdruck gelöst werden. Der Standardquerschnitt von Steinzeugrohren ist das Kreisprofil; die Rohre sind nach DIN EN 295 genormt

---

<sup>43</sup> Vgl. DIN 4263 (2011), S. 7

<sup>44</sup> Vgl. a. a. O., S. 8



und in den Nennweiten DN 100 bis DN 1200 erhältlich. Die Standardverlegung von Steinzeugrohren ist die offene Bauweise; wobei es auch Typen zur Verlegung in geschlossener Bauweise gibt.<sup>45</sup>

Im Jahr 2009 war Steinzeug mit einem Anteil von ca. 42 % gemeinsam mit Beton / Stahlbeton der am häufigsten vertretene Werkstoff im deutschen Kanalnetz. Der Anteil von Steinzeugrohren an der Kanalisation ist allerdings insgesamt rückläufig. Dennoch bestanden 2009 mit ca. 49 % noch fast die Hälfte der Rohre mit Nennweiten kleiner DN 800 aus Steinzeug.<sup>46</sup>

Durch die Verwendung von **Ortbeton** sind – abhängig von der Schalung – beliebige Querschnittsformen möglich. Ortbeton wird überwiegend bei Sammlern eingesetzt, bei denen durch große Nennweiten oder Sonderquerschnitte eine Verlegung von Fertigteilen nicht möglich wäre.<sup>47</sup>

**Beton-** oder auch **Stahlbetonrohre** können in beliebigen Profilarten und Nennweiten produziert werden; üblich sind Kreisprofilnennweiten von DN 100 bis DN 1400. Betonrohre mit Kreisprofil werden mit oder ohne Fuß, Eiprofile und andere Profile grundsätzlich mit Fuß hergestellt. Es gibt eine Vielzahl von möglichen Herstellungsverfahren, auf die an dieser Stelle nicht näher eingegangen wird.<sup>48</sup> Beton und Stahlbeton bilden zusammen das am häufigsten für Kanäle verwendete Material. Der Anteil dieser Rohre an der Kanalisation insgesamt liegt bei ca. 42 %, im Nennweitenbereich größer und gleich DN 800 sogar bei ca. 72 %.<sup>49</sup>

In Kanalisationen mit starker chemischer Beanspruchung können Betonrohre mit einem bei der Herstellung auf der Rohrinnenseite aufgetragenen Korrosionsschutz versehen werden, dieser besteht meist aus Keramik, Kunststoff oder Reaktionsharzbeton.<sup>50</sup>

**Kunststoffrohre** werden seit den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts in der Abwassertechnik verwendet. Sie werden in Vollwandrohrsysteme, Mehrschichtsysteme und Systeme mit profilierter Wandung unterschieden, wobei eine zusätzliche Unterscheidung über die verwendete Kunststoffart erfolgt. Kunststoffrohre werden je nach Nennweite in Längen von 500 bis 12000 mm hergestellt, das Nennweitenspektrum reicht von DN 100 (z. B. extrudiertes Einschichtsystem aus PVC-U) bis zu DN 1200 (extrudiertes Einschichtsystem aus PE-HD). Zusätzlich existieren noch Spiral- oder Wickelrohre, welche bis mindestens DN 3500 bei einer Länge von bis zu 6 m hergestellt werden können.<sup>51</sup> Der Anteil der Kunststoffrohre insgesamt hat sich von 2004 (ca. 4-6 %) bis 2009 (7 %) deutlich gesteigert. Er nimmt derzeit insbesondere bei Nennweiten kleiner DN 800 zu.<sup>52</sup>

Die ersten Mauerwerkskanäle mit mittleren bis großen Nennweiten wurden von den Römern gebaut. Zu Beginn der Kanalisation in Deutschland ab dem Jahr 1842 bis zur Jahrhundertwende wur-

<sup>45</sup> Vgl. Stein (1999), S. 35 ff.

<sup>46</sup> Vgl. Berger / Falk (2011), S. 27

<sup>47</sup> Vgl. FBS (2010) und Bölke (2009), S. 44

<sup>48</sup> Vgl. FBS (2010) und Bölke (2009), S. 45 f.

<sup>49</sup> Vgl. Berger / Falk (2011), S. 27

<sup>50</sup> Vgl. Stein (1999), S. 65 f.

<sup>51</sup> Vgl. a. a. O., S. 40-44

<sup>52</sup> Vgl. Berger / Falk (2011), S. 27

den die Kanäle dann ebenfalls überwiegend gemauert, da das Wissen um die Kanalisation von den Römern übernommen wurde.<sup>53</sup> Heute ist der Anteil der Kanäle aus **Mauerwerk** in Deutschland mit ca. 3 % eher gering. Seit 1990 hat der Anteil von Mauerwerk an der Kanalisation deutlich abgenommen. Mauerwerk findet sich als Werkstoff fast nur bei Kanälen mit Nennweiten größer und gleich DN 800.<sup>54</sup>

Der Vorteil des Werkstoffes Mauerwerk liegt insbesondere darin, dass sich auch außergewöhnliche Querschnittsformen wie das Eiprofil ohne großen Mehraufwand herstellen lassen. Gemauerte Kanäle könnten heute noch hergestellt werden, allerdings lässt aus dem sinkenden Anteil der Kanäle aus Mauerwerk schließen, dass von dieser Möglichkeit wegen langer Bauzeit und hohem Lohnanteil kaum noch Gebrauch gemacht wird.<sup>55</sup>

Weitere Werkstoffe für Kanalrohre sind Faserzement sowie Gusseisen / Stahl. In Deutschland haben diese Werkstoffe nur eine sehr geringe Bedeutung.

## 2.3 Ursachen und Verteilung von Schäden an Kanälen

### 2.3.1 Schadensarten

Nach ATV-DVWK-M 143-1 sind insgesamt 14 Hauptschadensgruppen definiert. Diese sind:

- Abzweig / Anschluss / Zuläufe,
- Rohrbruch, Rohrausbruch / Bruch allgemein,
- Korrosion,
- Verformung biegeweicher Rohrmaterialien (Deformation),
- Fehlanschluss,
- Abflusshindernis,
- Kanalsanierung,
- Lageabweichung,
- Risse / Brüche,
- Stutzen / Straßenablauf, Grundstücksanschluss,
- fehlende Teile,
- sichtbare Undichtigkeiten / Infiltration,
- mechanischer Verschleiß und
- sonstiger Zustand.

---

<sup>53</sup> Vgl. Stein (1999), S. 30

<sup>54</sup> Vgl. Berger / Falk (2011), S. 27

<sup>55</sup> Vgl. Stein (1999), S. 34

Im Weiteren werden die wichtigsten Schadensgruppen kurz beschrieben:

### **Schadhafte Anschlüsse<sup>56</sup>**

Diese Hauptschadensgruppe umfasst alle Schäden, die an der Verbindung zwischen Abwasserkanal und Anschlusskanal bzw. im Anschlusskanal auftreten. Dabei kann der Anschluss selbst undicht sein, der Anschlusskanal verstopft, gerissen oder verschlossen sein, der Anschlusskanal kann in den Abwasserkanal ragen oder es kann zu einem Wurzeleinwuchs am Anschlusspunkt gekommen sein.

Die Ursache für diese Schäden ist oftmals eine nicht fachgerechte Bauausführung. So wurden viele Anschlusskanäle durch Aufstemmen des Abwasserkanals eingebunden. „Bei dieser Vorgehensweise ist es nicht möglich, eine dauerhafte, wasserdichte und gelenkige Verbindung herzustellen. Zusätzlich besteht die Gefahr, dass das Kanalrohr selbst unkontrolliert beschädigt wird.“<sup>57</sup>

Mögliche Folgen eines schadhafte Anschlusses sind Abwasserexfiltration und Grundwasserinfiltration durch Undichtigkeiten. Durch eine Verringerung des Abflussquerschnitts durch Wurzeleinwüchse oder einragende Anschlüsse kann die hydraulische Leistungsfähigkeit des Kanals gemindert werden. Durch Verstopfungen oder Wurzeleinwüchse ist ein Rückstau im Anschlusskanal möglich.

### **Rissbildung**

„Die Schadensart ‚Risse‘ tritt überwiegend bei biegesteifen Rohren auf, wobei man zwischen drei Hauptrißformen unterscheidet, welche die Vorstufen für den Rohrbruch und schließlich für den Einsturz eines Kanals bilden können:

- Längsrisse,
- Querrisse,
- Risse von einem Punkt ausgehend (in manchen Fällen mit Scherbenbildung).

Rissursache und Rissart stehen in einem engen Zusammenhang, wobei die Form eines Risses, seine Abmessungen und sein Verlauf Rückschlüsse auf die Ursachen zulassen.“<sup>58</sup>

Als Ursachen für Risse kommen Beschädigung der Rohre beim Transport, Lagern, Verlegen, Einbetten, Überschütten und Verdichten, Kriegseinwirkungen, Linienlagerung, unzulässige Einwirkung von Einzellasten sowie Undichtigkeiten, Lageabweichungen, mechanischer Verschleiß und Korrosion in Frage. Längsrisse und von einem Punkt ausgehende Risse stellen eine Gefährdung der Standsicherheit dar, wobei der Zeitpunkt des Einsturzes nicht ohne weiteres vorhergesagt werden

---

<sup>56</sup> Vgl. ATV-DVWK-Merkblatt M 143-1 (2004), S. 29

<sup>57</sup> Vgl. Stein (1999), S. 118

<sup>58</sup> Vgl. a. a. O., S. 159

kann. Als Folge von Rissen ergeben sich Undichtigkeiten mit Grundwasserinfiltration oder Abwasserexfiltration sowie Rohrbrüche oder Einstürze.<sup>59</sup>

### **Abflusshindernisse<sup>60</sup>**

In jeder Kanalisation sind Feststoffe anzutreffen, die mit dem Abwasser oder mit infiltrierendem Grundwasser eingeleitet werden. Wird eine von verschiedenen Faktoren wie betrieblicher Rauheit, mittlerem Korndurchmesser oder Leistungsgefälle abhängige Grenzgeschwindigkeit unterschritten, können sich diese Feststoffe absetzen und bilden **Ablagerungen**. Diese führen zu einer Verringerung der hydraulischen Leistungsfähigkeit, können Verstopfungen sowie Rückstau verursachen und in eine anaerobe Faulung übergehen, die die Korrosion und Zerstörung zementgebundener Werkstoffe begünstigt.

**Wurzeleinwüchse<sup>61</sup>** treten fast ausschließlich bei Kanälen auf, die ständig oder die meiste Zeit oberhalb des Grundwasserspiegels bzw. in Böden mit sehr begrenztem Wasserangebot liegen, da im anderen Fall der Wasserbedarf der Bäume und Sträucher bereits durch das anstehende Grundwasser gedeckt wird. Ursachen für Wurzeleinwüchse sind die Verwendung nicht wurzelfester Dichtstoffe oder Rohrverbindungen, Undichtigkeiten und die Unterschreitung von Mindestabständen zur Bepflanzung. Wurzeleinwüchse führen zur Reduzierung der hydraulischen Leistungsfähigkeit bis hin zur Verstopfung und erhöhen den Wartungsaufwand.

**Einragende Abflusshindernisse** sind in den meisten Fällen Anschlusskanäle von Gebäuden, Grundstücken oder Straßenabläufen, die nicht fachgerecht hergestellt wurden. Weiterhin können bei Bauarbeiten im Bereich der Kanaltrasse auch andere Hindernisse wie Pfähle oder Ankerstangen in den Kanal eindringen bzw. diesen durchdringen. Einragende Abflusshindernisse führen zur Reduzierung der hydraulischen Leistungsfähigkeit bis zur Verstopfung und können Undichtigkeiten im Bereich der Durchdringung mit sich bringen.

### **Lageabweichungen**

„Unter Lageabweichung versteht man die nicht geplante Abweichung der Kanäle [...] von einer bei der Planung und / oder bei der Bauausführung u.U. situationsbedingt festgelegten Sollage.“<sup>62</sup> Es werden Lageabweichungen in Vertikalrichtung, Horizontalrichtung und Längsrichtung unterschieden, weiterhin gibt es Unterbögen und Ausbiegungen.

Ursachen für Lageabweichungen können hydrogeologische Veränderungen, Veränderungen der von oben wirkenden Kräfte, Setzungen (z.B. als Folge von Undichtigkeiten) sowie Bergsenkungen und Erdbeben sein.<sup>63</sup>

---

<sup>59</sup> Vgl. ATV-DVWK-Merkblatt M 143-1 (2004), S. 31

<sup>60</sup> Vgl. Stein (1999), S. 123 ff.

<sup>61</sup> Vgl. IKT (2007)

<sup>62</sup> Vgl. a. a. O., S. 128

<sup>63</sup> Vgl. ATV-DVWK-Merkblatt M 143-1 (2004), S. 31

Bedingt durch Lageabweichungen reißen häufig Anschlussleitungen ab. Es können Undichtigkeiten, Abflusshindernisse und Risse entstehen. Weitere mögliche Folgen sind Rohrbrüche sowie der Verlust der Funktionsfähigkeit durch ein sich einstellendes Gegengefälle.<sup>64</sup>

## Korrosion

Korrosion bezeichnet eine Reaktion in Abwasseranlagen an Baustoffen mit ihrer Umgebung, die durch chemische, elektrochemische oder mikrobiologische Vorgänge zu einer Beeinträchtigung des Baustoffes führen. Dabei bewirkt im Ableitungssystem abfließendes Niederschlagswasser keinen chemischen Angriff. Das Ausmaß der Korrosion hängt in erster Linie von der Aggressivität des Korrosionsmediums sowie vom vorhandenen Werkstoff ab. Dabei sind insbesondere zementgebundene (z.B. Beton) und metallische Werkstoffe durch Korrosion gefährdet; Steinzeugrohre und Kanalklinker sind in der Regel korrosionsbeständig.<sup>65</sup>

Als Ursache für Korrosionen im Kanal kommen Fehler beim Betrieb, die Bildung von aggressivem Abwasser durch eingeleitete Substanzen sowie biogene Säure-Korrosion in teilgefüllten Kanälen und Bauwerken aus zementgebundenen und sonstigen säureempfindlichen Werkstoffen in Frage. Weiterhin können als Ursachen für Außenkorrosion eine fehlerhafte Bauausführung (Nichtbeachtung der Grenzwerte nach Normen und Richtlinien bei Boden- und Grundwasseraggressivität, fehlender unsachgemäß hergestellter oder beschädigter Korrosionsschutz) sowie in den Boden oder in das Grundwasser eingeleitet aggressive Substanzen in Frage kommen.<sup>66</sup>

Die wichtigsten Folgen der Korrosion sind Undichtigkeiten sowie die Reduktion der Wanddicke und damit eine Verringerung der statischen Tragfähigkeit. Letztere ist jedoch bei Betonrohren nicht unbedingt als kritisch anzusehen, da diese auch mit 40 % der Ursprungswanddicke noch mit entsprechender Sicherheit als ausreichend tragfähig angesehen wird. Zusätzlich verursacht Innenkorrosion eine Erhöhung der Wandrauheit und dadurch bedingt eine Reduktion der hydraulischen Leistungsfähigkeit.<sup>67</sup>

## Undichtigkeiten / Infiltration

Nach ATV-DVWK-M 143-1 können Undichtigkeiten an Schachtanbindungen und Rohrverbindungen auftreten, weiterhin kann die Rohrwandung selbst undicht sein. Ursachen für Undichtigkeiten können fehlerhafte Planung, Werkstoff- und Bauteilwahl, Bauausführung und Betrieb sowie Werkstoffalterung und andere Schäden (z.B. Risse) sein. Ein häufig auftretender Schaden stellt in diesem Zusammenhang die undichte Muffe bzw. undichte Rohrverbindung dar. Diese entsteht z.B. durch fehlende oder falsch eingelegte Dichtringe, unsachgemäße Aufbringung von Dichtstoffen oder unsachgemäßes, nicht zentrisches Zusammenführen der Rohre. Die wichtigsten Folgen von Undichtigkeiten sind Abwasserexfiltration und Grundwasserinfiltration.

---

<sup>64</sup> Vgl. Stein (1999), S. 129

<sup>65</sup> Vgl. a. a. O., S. 132

<sup>66</sup> Vgl. ATV-DVWK-Merkblatt M 143-1 (2004), S. 29

<sup>67</sup> Vgl. Stein (1999), S. 146

Weitere schädliche Einflüsse in Folge von Abwasserexfiltration sind Schadstoffeintrag in den Boden, schädigende Auswirkungen auf Leitungen, Bauwerke oder Straßenoberbau sowie Änderung der Bettungsbedingungen mit Folgeschäden wie Rohrbruch, Einsturz, Deformation, Verformung und Rissen; weitere schädliche Einflüsse in Folge von Grundwasserinfiltration sind Bodeneintrag (mit Ablagerungen), Erhöhung des Fremdwasseranteils mit nachteiligen Auswirkungen auf Kläranlage und Gewässer sowie ein erhöhter Wartungsaufwand.<sup>68</sup>

### **Rohrbrüche<sup>69</sup>**

Als Rohrbruch wird das Fehlen einzelner Stücke der Rohrwandung bezeichnet. Ein Rohrbruch wird durch die zusätzliche Störung oder veränderte Belastung eines durch Riss- oder Scherbenbildungen beschädigten Rohres verursacht. Weiterhin kann er als Folge von Undichtigkeiten, mechanischem Verschleiß oder Korrosion auftreten.

Die Folge eines Rohrbruches kann der Einsturz des Kanals sein, dieser führt im Allgemeinen zur Unterbrechung der Abwasserableitung. Weiterhin bilden Scherben, welche beim Rohrbruch möglicherweise heruntergefallen sind Abflusshindernisse mit weiteren in diesem Abschnitt beschriebenen Folgen. Da Rohrbrüche immer mit Undichtigkeiten einhergehen, werden Abwasserexfiltration und Grundwasserinfiltration sowie Wurzeleinwüchse ermöglicht.

### **Mechanischer Verschleiß**

Verschleiß an Abwasserkanälen findet vorwiegend im Sohlenbereich der Rohrrinnenfläche statt. Als mögliche Ursachen von mechanischem Verschleiß kommen nach ATV-DVWK-M 143-1 Fehler beim Betrieb, der Einsatz ungeeigneter Rohrwerkstoffe, Abrieb durch Feststofftransport, Kavitation, ungeeignete Verfahren und Geräte bei der Reinigung sowie unzulässige Einleitungen von chemischen Stoffen in Frage. Die Hauptfolgen von mechanischem Verschleiß sind eine Erhöhung der Wandrauheit mit einhergehender Reduzierung der hydraulischen Leistungsfähigkeit sowie Reduzierung der Wanddicke. Aus letzterem kann eine zu geringe Bewehrungsüberdeckung oder sogar eine Freilegung der Bewehrung resultieren, mit der Folge von Bewehrungskorrosion und einer damit einhergehender Reduzierung der Tragfähigkeit.<sup>70</sup>

### **Übrige Schadensgruppen**

„**Verformung biegeweicher Rohrmaterialien (Deformationen)**“ treten auf durch fehlerhafte oder fehlende statische Berechnungen, Einbau ungeeigneter oder fehlerhafte Rohre, unsachgemäßes Verlegen und/oder Einbetten, mangelhafte Ringraumverfüllung bei geschlossener Bauweise, unsachgemäßen Einsatz von Verdichtungsgeräten, unsachgemäße Beseitigung des Verbaus, Temperatureinwirkungen, Undichtigkeiten, mechanischen Verschleiß oder Korrosion. Mögliche Folgen von Deformationen sind eine Reduzierung der hydraulischen Leistungsfähigkeit bis hin zur Verstop-

---

<sup>68</sup> Vgl. ATV-DVWK-Merkblatt M 143-1 (2004), S. 32

<sup>69</sup> Vgl. Stein (1999), S. 164 ff.

<sup>70</sup> Vgl. ATV-DVWK-Merkblatt M 143-1 (2004), S. 33

fung, Undichtigkeiten, Risse, Spannungsrisse mit Korrosion, Rohrbruch, Einsturz sowie ein erhöhter Betriebsaufwand.<sup>71</sup>

Die Schadensgruppe „**Fehlanschluss**“ bezeichnet Anschlüsse von Schmutzwasserleitungen an Regenwasserkanäle und umgekehrt in der Trennkanalisation. Dabei gelangt Schmutzwasser in den Regenwasserkanal, was zur ungeklärten Einleitung von Schmutzwasser in ein Gewässer führen kann, oder es gelangt Regenwasser in den Schmutzwasserkanal, was den Fremdwasseranteil auf der Kläranlage erhöht und die hydraulische Leistungsfähigkeit reduziert.<sup>72</sup>

Die Schadensgruppe „**Kanalsanierung**“ beinhaltet Schäden, die durch nicht fachgerecht ausgeführte Kanalsanierungen entstanden sind. Dazu gehören nicht haftende oder mit dem falschen Material ausgeführte Innenauskleidungen, Falten- oder Blasenbildung sowie Fehler bei der Konfektionierung. Mögliche Folgen sind eine Reduzierung der hydraulischen Leistungsfähigkeit, erhöhter Betriebsaufwand, Verstopfungsgefahr, Grundwasserinfiltration bzw. Abwasserexfiltration sowie ein hoher Aufwand für die erneute Sanierung des sanierten Bereichs.<sup>73</sup>

Von einem Schaden wird auch gesprochen, wenn Teile der Kanalisation, wie Klinker, Mörtel, Ausgleichsringe, Leitern usw. fehlen. Ursachen für „**Fehlende Teile**“ sind Alterung des mineralischen Materials, betriebliche Beanspruchung durch Hochdruckreinigung und mechanische oder chemische Einwirkungen. Mögliche Folgen sind Undichtigkeiten, Rohrbruch, Deformation, Verringerung der statischen Tragfähigkeit und erhöhter betrieblicher Aufwand.<sup>74</sup>

Die Hauptschadensgruppe „**Sonstiger Zustand**“ beinhaltet die Schäden Wasserrückstau, Fremdwasserzulauf, starke Wasserinfiltration und Abwasserexfiltration. Mögliche Ursachen dieser Schäden sind der Anfall von Schmutzwasser, das Eindringen von Wasser sowie Leckagen an der Rohrverbindung. Mögliche Folgen sind Beeinträchtigungen der hydraulischen Leistungsfähigkeit von Kanal und Kläranlage, erhöhter Schadstoffaustrag aus der Kläranlage und den Mischwasserentlastungsbauwerken, erhöhter betrieblicher Aufwand, erhöhte Betriebskosten, Gefährdung für Grundwasser und Erdreich, Gefahr der Hohlraumbildung mit Zerstörung der Rohrleitung sowie Lageabweichungen.<sup>75</sup>

### 2.3.2 Schadensverteilung

Die Schadensverteilung an Kanälen wird in unregelmäßigen Abständen von unterschiedlichen Institutionen und Forschungsinstituten untersucht. Ein besonderes Problem ergibt sich aus der Tatsache, dass jedes Entwässerungsnetz ein Unikat darstellt und sich daraus eine sehr unterschiedliche Verteilung der verwendeten Werkstoffe und der Schadensarten ergibt. Die Unterschiede bezüglich

<sup>71</sup> Vgl. a. a. O., S. 30

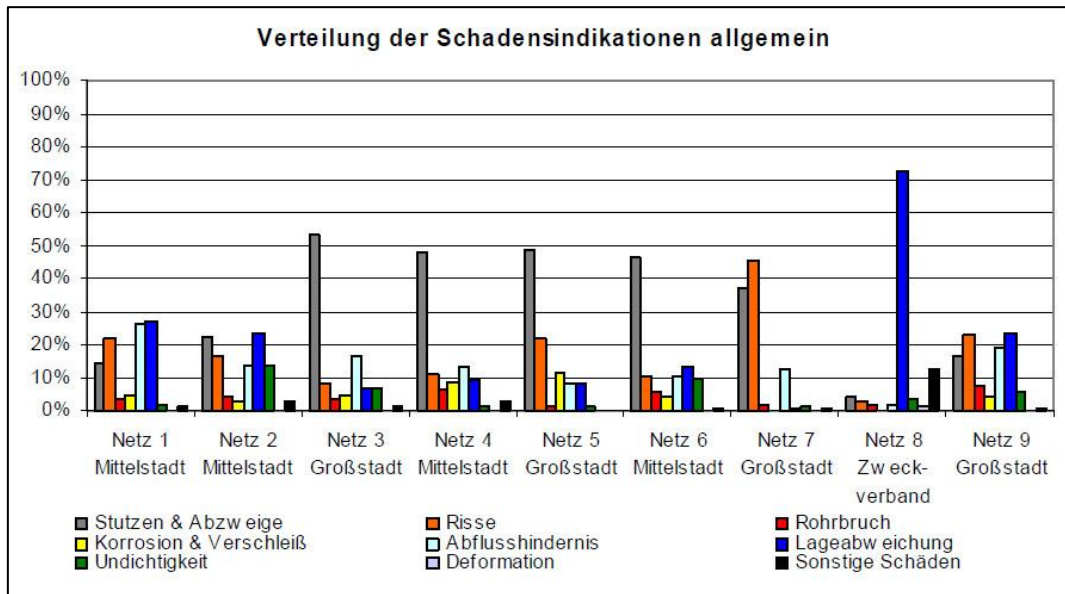
<sup>72</sup> ebenda

<sup>73</sup> Vgl. a. a. O., S. 31

<sup>74</sup> Vgl. ATV-DVWK-Merkblatt M 143-1 (2004), S. 32

<sup>75</sup> Vgl. a. a. O., S. 33

der am häufigsten auftretenden Schäden in verschiedenen Netzen zeigt beispielhaft *Abbildung 2-02*:



**Abbildung 2-02:** Schadensverteilung in unterschiedlichen Kanalnetzen<sup>76</sup>

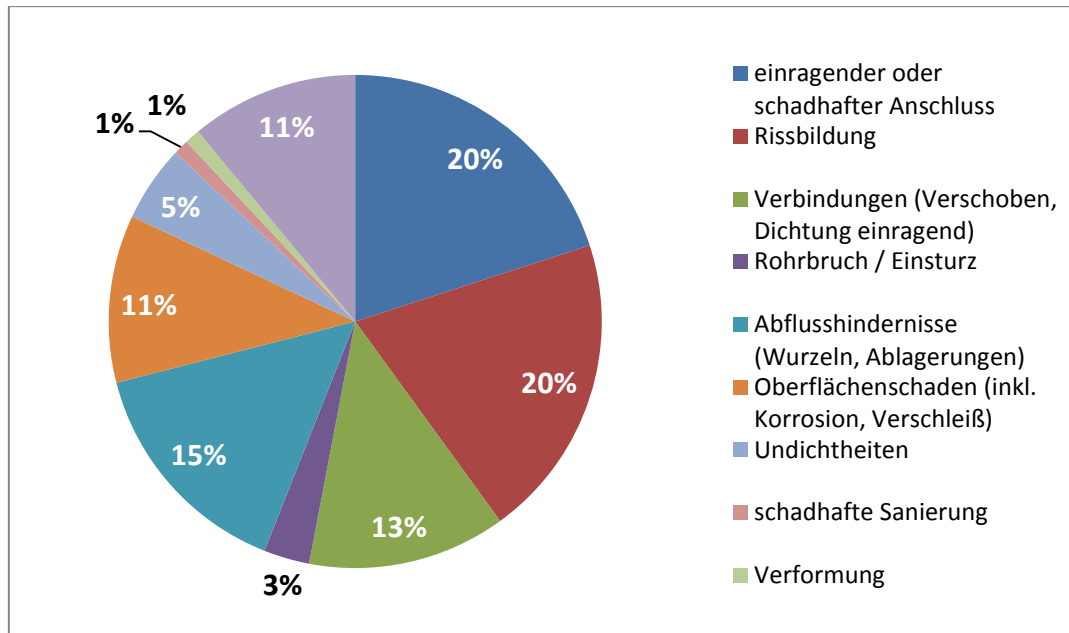
Netzübergreifend fällt die Dominanz von Schäden an Anschlüssen (in der *Abbildung 2-02* als „Stutzen & Abzweige“ zusammengefasst) auf. Weitere wichtige Hauptschadensgruppen sind nach dieser Untersuchung Risse, Hindernisse und Lageabweichungen. Verschleiß, Korrosion und Deformation nehmen eine untergeordnete Rolle ein, was auf deren schlechte Erkennbarkeit insbesondere im Frühstadium des Schadens zurückgeführt werden kann. Das scheinbar seltene Auftreten von Undichtigkeiten lässt sich dadurch erklären, dass diese oft als Folge von anderen Schäden auftreten und dabei nur als Zusatzangabe zu dem Hauptschaden erfasst werden.<sup>77</sup>

In der Praxis besitzen die Schäden unterschiedliche Relevanz und treten in unterschiedlicher Häufigkeit auf. Im Zustandsbericht von Berger und Falk wurde die Verteilung von Schäden an Kanälen folgendermaßen festgestellt:

<sup>76</sup> aus Pinnekamp / Bolle (2005), S. 91

<sup>77</sup> ebenda



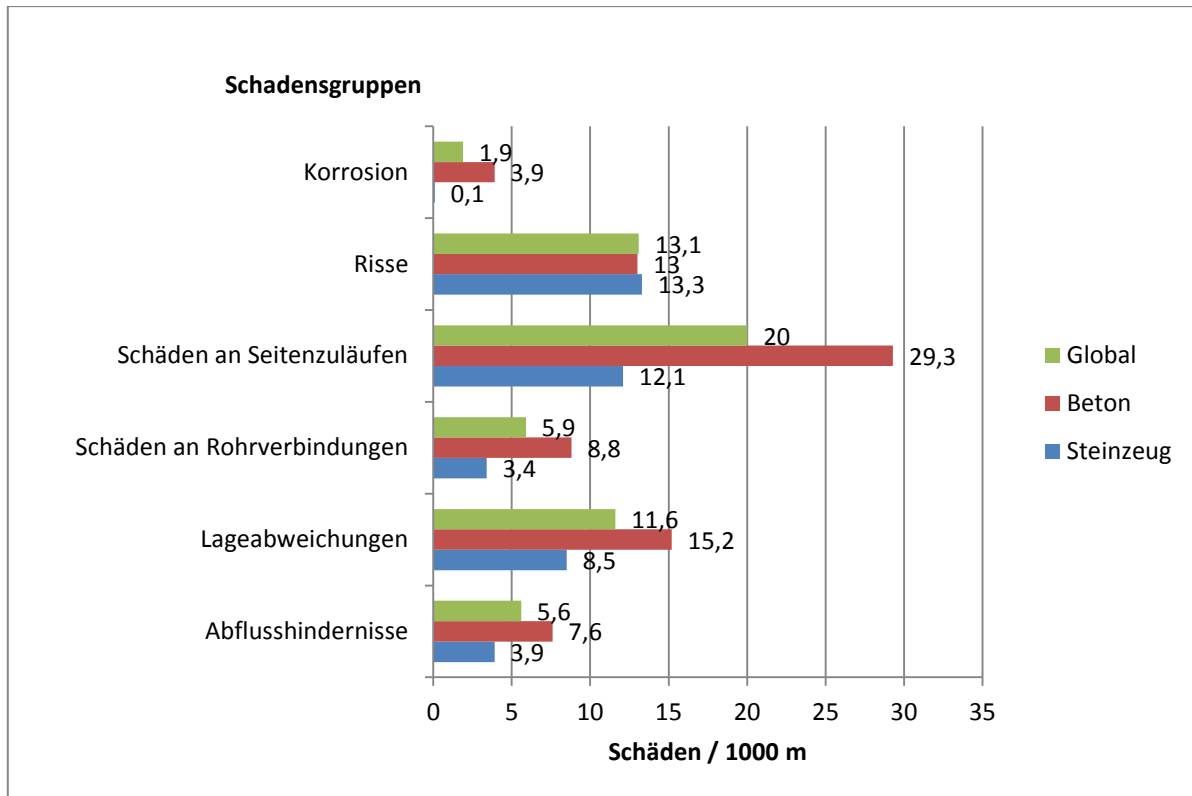


**Abbildung 2-03:** Schadensverteilung an Kanälen<sup>78</sup>

Die meisten Schäden treten durch schadhafte Anschlüsse und in Form von Rissbildungen auf. Eine wichtige Rolle spielt auch die Problematik von Abflusshindernissen. Eine eher untergeordnete Rolle spielen die Schäden aufgrund nicht präzise ausgeführter Sanierung, Verformungen und Rohrbruch oder Einsturz.

Ein wichtiger Einflussfaktor auf die Schadensverteilung sind auch die verwendeten Werkstoffe. Da die am häufigsten verwendeten Werkstoffe in der Kanalisation Beton und Steinzeug sind, wurde bereits im Jahr 1993 eine Untersuchung der Schadensverteilung bei Kanälen dieser Werkstoffe vorgenommen. Das Ergebnis dieser Untersuchung, sowohl für beide Werkstoffe gemeinsam („global“), als auch getrennt, zeigt *Abbildung 2-04*:

<sup>78</sup> aus Berger / Falk (2011), S. 28



**Abbildung 2-04:** Schadenshäufigkeit von Abwasserkanälen aus Beton- und Steinzeugrohren<sup>79</sup>

Auch bei dieser Untersuchung wird die Dominanz der Schäden an Anschlüssen deutlich (hier bezeichnet als Schäden an Seitenzuläufen), besonders häufig treten diese an Betonrohren auf. Weiterhin kann das Kanalrohr selbst in Form von Rissen, Scherben oder Rohrbruch beschädigt werden. Bei Steinzeugrohren werden häufig Formstücke verwendet, wodurch ein Aufstemmen des Kanals nicht nötig und die Schadenshäufigkeit in dieser Schadensgruppe geringer ist.<sup>80</sup>

Dementsprechend lassen sich grundsätzlich fast alle schadhaften Anschlüsse auf eine fehlerhafte Bauausführung zurückführen. Schadhafte Anschlüsse stellen zwar selten eine Gefahr für die Standicherheit der Haltung dar, bringen aber häufig betriebliche Probleme (z.B. durch verringerte hydraulische Leistung) mit sich und führen fast immer zu Undichtigkeiten mit daraus resultierender Grundwasserinfiltration bzw. Abwasserexfiltration mit negativen Folgen für den Betrieb (mehr Fremdwasser) bzw. für die Umwelt.

Weitere wichtige Schäden laut dieser Untersuchung sind Lageabweichungen und Risse, gefolgt von Schäden an Rohrverbindungen und Abflusshindernissen. Risse sind hierbei oft auf eine fehlerhafte Bauausführung zurückzuführen und haben Undichtigkeiten zur Folge. Auftretende Abflusshindernisse bringen betriebliche Probleme durch Verringerung der hydraulischen Leistungsfähigkeit mit

<sup>79</sup> aus Stein / Kaufmann (1993), S. 174

<sup>80</sup> Vgl. a. a. O., S. 176

sich. Lageabweichungen und Schäden an Verbindungen können ebenfalls betriebliche Probleme nach sich ziehen und zu Undichtigkeiten führen.

Was die Wahl des Werkstoffs betrifft, lässt sich zusammenfassend sagen, dass die Anzahl der Schäden pro km Leitungslänge an Steinzeugrohren geringer ist als an Betonrohren. Gründe hierfür sind u.a. die sorgfältigere Bauweise bei den Steinzeugrohren (kein Aufstemmen von Seitenanschlüssen, bessere Ausführung der Dichtung) sowie ihre geringere Korrosionsanfälligkeit.

## 2.4 Zustand der Kanalisation

Die Länge der öffentlichen Entwässerungskanäle in Deutschland beträgt rund 540.000 km. Fast ein Drittel der öffentlichen Kanäle sind älter als 50 Jahre, wobei zurzeit durchschnittlich ca. 17 % der rund 540.000 km öffentlicher Kanalisation kurz- bis mittelfristig sanierungsbedürftig sind. Dies entspricht einem mittleren Sanierungsvolumen von etwa 67 Mrd. €. <sup>81</sup> Trotz eines gestiegenen Investitionsvolumens in den vergangenen Jahren ist der Zustand der öffentlichen Kanalisation auf einem gleichen Niveau geblieben. Es konnte bis heute keine Zustandsverbesserung der Entwässerungsanlagen erreicht werden. Der Grund hierfür ist ein erheblicher Instandhaltungsstau, der einen wesentlich größeren Mitteleinsatz erfordert. <sup>82</sup>

Neben den Sanierungsmaßnahmen zur Wiederherstellung oder Verbesserung von vorhandenen Entwässerungssystemen für heute schadhafte Kanäle wird zusätzlich auf die Kommunen in Zukunft der notwendige Instandhaltungsaufwand für die zurzeit noch intakten Kanäle hinzukommen.

Diesem Sanierungsbedarf stehen begrenzte Budgets in den Kommunen gegenüber. Die Motivation zur Sanierung wird oftmals durch fehlende öffentliche Wahrnehmung der im Untergrund vergrabenen Infrastruktur abgeschwächt. Auch werden die Entwässerungsnetze im öffentlichen Bewusstsein anders als z.B. im Hochbau wahrgenommen. Erfreut sich die Bevölkerung stets an „schönen“ Bauwerken im Hochbau, hat die unterirdische Infrastruktur erhebliche Imageprobleme; wird sie doch lediglich durch Stören der alltäglichen Gewohnheiten im Straßenverkehr aufgrund von Sanierungen in offener Bauweise wahrgenommen. An einem „schönen“ Kanal hat sich noch niemand erfreut.

Trotzdem darf nicht vernachlässigt werden, dass im Untergrund ein enormer materieller Wert vorhanden ist. Laut DWA-Umfrage 2009 geht es aktuell um die Werterhaltung eines Anlagevermögens mit dem Wiederbeschaffungswert von 687 Mrd. €. <sup>83</sup>

Geht man von einer mittleren Nutzungsdauer von 80 Jahren gemäß LAWA aus <sup>84</sup>, ergibt sich als

<sup>81</sup> Grundlage der Berechnung:  $17\% \cdot 540.000.000 \text{ m} \cdot 729 \text{ €/m} = 67 \text{ Mrd. €}$  (wobei 729 €/m als Mittelwert der Sanierungsverfahren für die Jahre 2009-2013 von den teilnehmenden Kommunen an der DWA Umfrage 2009 prognostiziert wird)

<sup>82</sup> Vgl. Berger / Falk (2011), S. 14

<sup>83</sup> Vgl. a. a. O., S. 11

<sup>84</sup> Vgl. LAWA (2005)

erforderliche Investition (Abschreibung) in das Kanalnetz pro Jahr ein Betrag von ca. 8,6 Mrd. € pro Jahr.<sup>85</sup> Zurzeit werden in Deutschland zur Sanierung der öffentlichen Entwässerungsnetze ca. 4,3 Mrd. € pro Jahr investiert.<sup>86</sup> Geht man davon aus, dass ca. 44 % der durchgeführten Maßnahmen der Erneuerung zugeordnet werden können, so werden jährlich lediglich 2,8 ‰ des Wiederbeschaffungswertes in das System investiert.<sup>87</sup> Bei langfristigem Einsatz dieses jährlichen Betrages müssten die Kanalnetze eine Nutzungsdauer von ca. 360 Jahren haben. Umgekehrt müssten bei einer Nutzungsdauer von 80 Jahren und 44 % durchgeführten Erneuerungsmaßnahmen jährlich ca. 19,5 Mrd. € zur Sanierung freigesetzt werden.

Aus den genannten Aspekten lässt sich ein durchschnittlicher Instandhaltungsstau ableiten, der sich über die Jahre sukzessive aufgebaut hat. Betrachtet man die DWA-Umfrage 2004, so wurde damals von 42 % der befragten Kommunen ein Instandhaltungsstau prognostiziert. 39 % der befragten Kommunen allerdings erwarteten diesen nicht (von den restlichen 19 % lagen keine Angaben vor). Dies zeigt die widersprüchliche Auffassung in den Kommunen über den Zustand der Kanalisation und lässt vermuten, dass dem notwendigen Investitions- und Sanierungsbedarf für die Kanalnetze in dieser Zeit nicht nachgekommen wurde. Nach der DWA-Umfrage 2009 werden mittlerweile von einem Gros der Kommunen ausreichende Investitionen zum Abbau der kurz- und mittelfristig erforderlichen Kanalsanierungen vorgenommen. Trotzdem ist der Zustand der Kanalisation auf gleichem Niveau wie bisher geblieben. Es besteht weiterhin ein hoher Sanierungsbedarf.

Ganzheitliche Lösungsansätze für die Sanierung, wie in DIN EN 752:2008 beschrieben, werden mittlerweile in den meisten Sanierungsplanungen der Kommunen berücksichtigt. Eine derart ganzheitliche Betrachtungsweise, die neben den technischen Erfordernissen kaufmännische Aspekte sowie langfristige monetäre Betrachtungen einbezieht ist notwendig, um Fehlentwicklungen zu erkennen und Gegenmaßnahmen zur Vermeidung gravierender Finanzierungsstaus einleiten zu können.<sup>88</sup> Die Finanzmittel können somit wirtschaftlicher eingesetzt werden.

Man kann konstatieren, dass aufgrund ausbleibender Zustandsverbesserung des Systems trotz ansteigendem Mitteleinsatz für die Sanierung die Sanierungsplanungen auf Basis der ganzheitlichen Lösungsansätze kritisch geprüft und analysiert werden müssen, um vorhandenes Optimierungspotenzial zu identifizieren.

---

<sup>85</sup>  $687 \text{ Mrd. €} / 80 \text{ Jahre} = 8,5875 \text{ Mrd. €}$

<sup>86</sup>  $8000 \text{ €/km} * 540.000 \text{ km} = 4,32 \text{ Mrd. €}$  [in Anlehnung an ebenda]

<sup>87</sup>  $0,44 * 4,3 \text{ Mrd. €} / 687 \text{ Mrd. €} = 0,002754 (\equiv 2,8 \text{ ‰})$

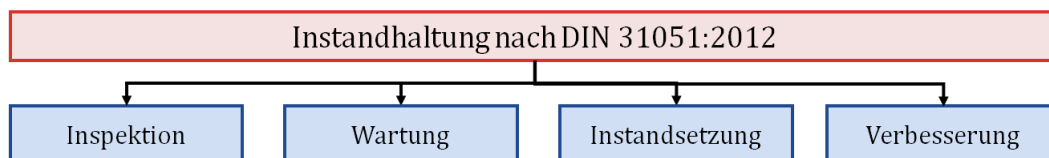
<sup>88</sup> Vgl. Wolf (2006), S. 29

### 3. Instandhaltung der Kanalisation

#### 3.1 Grundlagen der Instandhaltung („Instandhaltung“ vs. „Sanierung“)

##### 3.1.1 Instandhaltungsbegriff nach DIN 31051<sup>89</sup>

Nach DIN 31051:2012 definiert sich Instandhaltung als „Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus einer Einheit, die dem Erhalt oder der Wiederherstellung ihres funktionsfähigen Zustands dient, sodass sie die geforderte Funktion erfüllen kann“. Dabei lässt sich die Instandhaltung in die Grundmaßnahmen Inspektion, Wartung, Instandsetzung und Verbesserung untergliedern.



**Abbildung 3-01:** Unterteilung der Instandhaltung nach DIN 31051:2012

Die Grundmaßnahmen beinhalten Tätigkeiten, die als Ziel den Erhalt der Funktionsfähigkeit haben. Dieser Zustand kann dem Neuzustand entsprechen, muss aber nicht.<sup>90</sup>

##### a) Inspektion

Nach DIN 31051:2012 werden unter Inspektion die „Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Istzustandes einer Einheit einschließlich der Bestimmung der Ursachen der Abnutzung und dem Ableiten der notwendigen Konsequenzen für eine künftige Nutzung“ verstanden.

Über so genannte Sichtprüfungen soll über die Bestimmung des Istzustandes eine mögliche Abweichung zum Sollzustand der Betrachtungseinheit festgestellt werden. Die Inspektion hat vorbeugenden Charakter, wobei frühzeitig mögliche Ausfälle erkannt werden sollen. Aufgrund der anschließenden Beurteilung des Istzustandes werden Instandsetzungspläne erarbeitet, die die Grundlage für das Wiederherstellen des Sollzustandes darstellen, um die zukünftige Nutzung der Betrachtungseinheit zu sichern. Inspektionen bilden demnach die Voraussetzung für eine Instandhaltungsplanung.<sup>91</sup>

<sup>89</sup> Der Begriff Instandhaltung wird auch in der DIN EN 13306:2010 („Begriffe der Instandhaltung“), die ausschließlich Begriffsdefinitionen enthält, erläutert. Die dort genannte Definition zur Instandhaltung weicht in Nuancen von der DIN 31051:2012 ab. Im Rahmen dieser Arbeit wird die DIN 31051:2012 in den Fokus gerückt, da sie neben Begriffserlääuterungen auch Grundlagen und Zusammenhänge der Instandhaltung behandelt.

<sup>90</sup> Vgl. Nagel (2007), S. 142

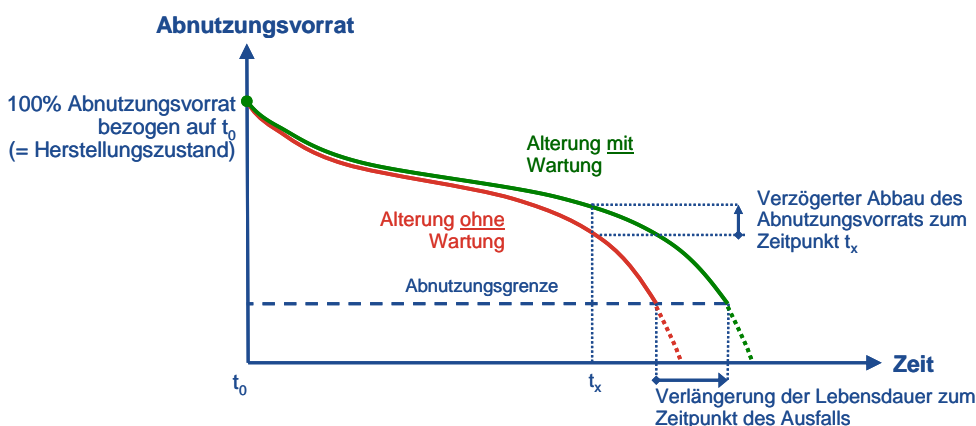
<sup>91</sup> Vgl. Klingenberger (2007), S. 24 f. sowie Gondring / Wagner (2012), S. 146 f.

„Unterscheiden kann man die Inspektion nach dem Zeitpunkt der Prüfung. Resultiert die Inspektion aus einem Schaden, wird sie also nach Eintreten eines Schadens ausgeführt, spricht man von einer schadensbedingten Inspektion, wird die Inspektion vorbeugend noch vor Eintreten eines Schadens eingesetzt, von einer schadensvorbeugenden Inspektion.“<sup>92</sup>

Bei der **schadensbedingten Inspektion** geht es darum, Konsequenzen aus einem Schaden zu ziehen. Das Inspektionsergebnis wird ausgewertet, um daraus entsprechende Maßnahmen für eine zukünftige Inspektion abzuleiten. Bei der **schadensvorbeugenden Inspektion** wird der Zustand der Betrachtungseinheit beurteilt. Die aufgetretene Abnutzung wird erfasst und vorbeugend beseitigt. Es wird eine vorzeitige Beurteilung der Funktionstüchtigkeit der Betrachtungseinheit durchgeführt, um eine erneute Inspektion vor Schadensentstehung einzuplanen. Ziel ist es demnach, einen Schadensfall durch entsprechende Maßnahmen zu vermeiden.<sup>93</sup>

#### b) Wartung

Die DIN 31051:2012 definiert Wartung als „Maßnahmen zur Verzögerung des Abbaus des vorhandenen Abnutzungsvorrats“. „Ziel der Wartung ist, durch Verzögerung des Abbaus des Abnutzungsvorrates die Lebensdauer zu verlängern und einen möglichen Ausfall der Betrachtungseinheit zu vermeiden. Dementsprechend handelt es sich bei der Wartung um eine Maßnahme mit vorbeugendem Charakter.“<sup>94</sup>



**Abbildung 3-02:** Verzögerter Abbau des Abnutzungsvorrats und Verlängerung der Lebensdauer durch Wartungsmaßnahmen<sup>95</sup>

#### c) Instandsetzung

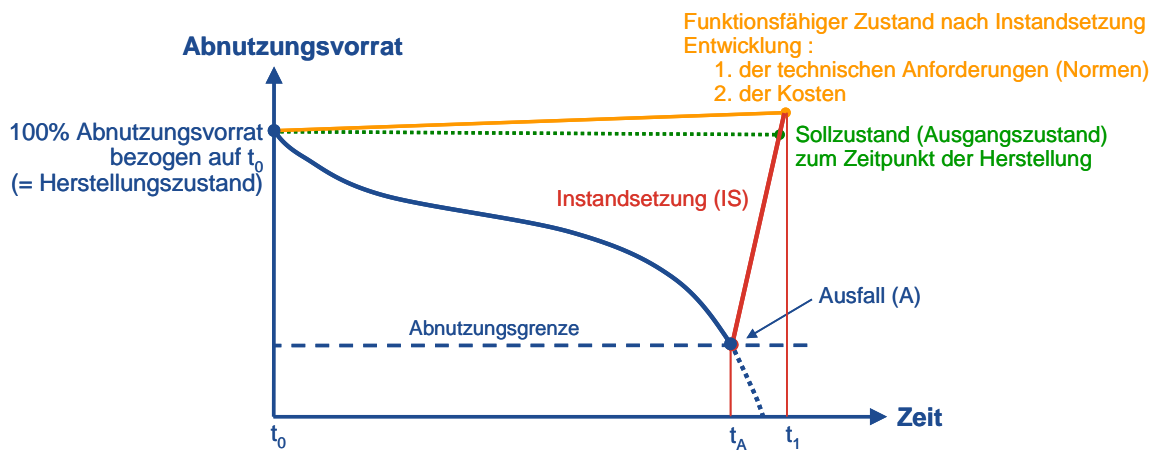
Die Instandsetzung umfasst nach DIN 31051:2012 eine „physische Maßnahme, die ausgeführt wird, um die Funktion einer fehlerhaften Einheit wiederherzustellen“.

<sup>92</sup> Vgl. Ochs (2008), S. 21

<sup>93</sup> Vgl. Gondring / Wagner (2012), S. 147

<sup>94</sup> Vgl. Ochs (2008), S. 22

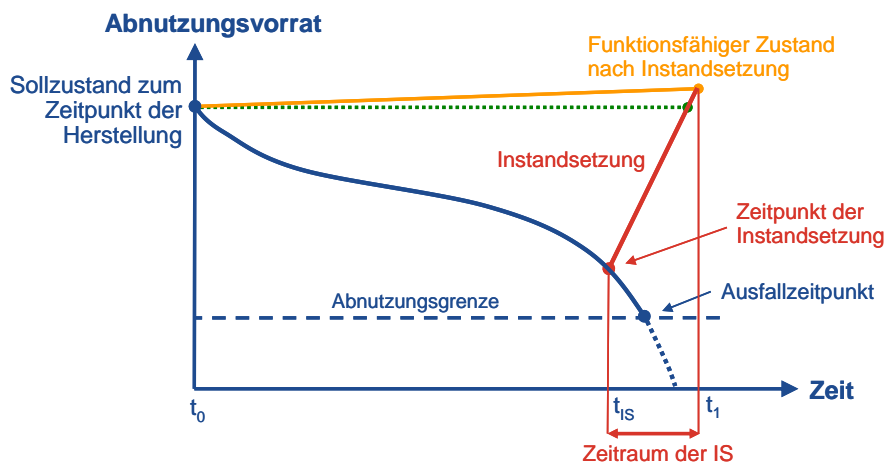
<sup>95</sup> aus ebenda



**Abbildung 3-03:** Unterscheidung zwischen funktionsfähigem Zustand nach Instandsetzung und Sollzustand nach Herstellung<sup>96</sup>

Bei einer Wiederherstellung der Funktion einer fehlerhaften Einheit nach einer Instandsetzung muss die Entwicklung von technischen Anforderungen sowie Kostensteigerungen einzelner Betrachtungseinheiten über deren Lebensdauer berücksichtigt werden.

Instandsetzungen können zu unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführt werden und zwar vor, mit oder nach Erreichen der Ausfallgrenze. Die Festlegung des idealen Zeitpunkts zur Durchführung der Instandsetzung erfolgt in Abhängigkeit der für ein spezifisches Instandhaltungsobjekt verfolgten Instandhaltungsstrategie.<sup>97</sup>

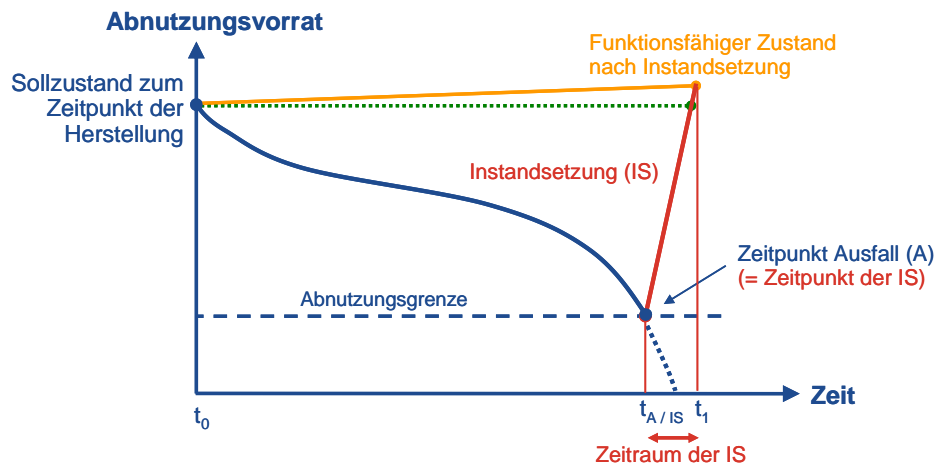


**Abbildung 3-04:** Zeitpunkt der Instandsetzung vor Erreichen der Abnutzungsgrenze<sup>98</sup>

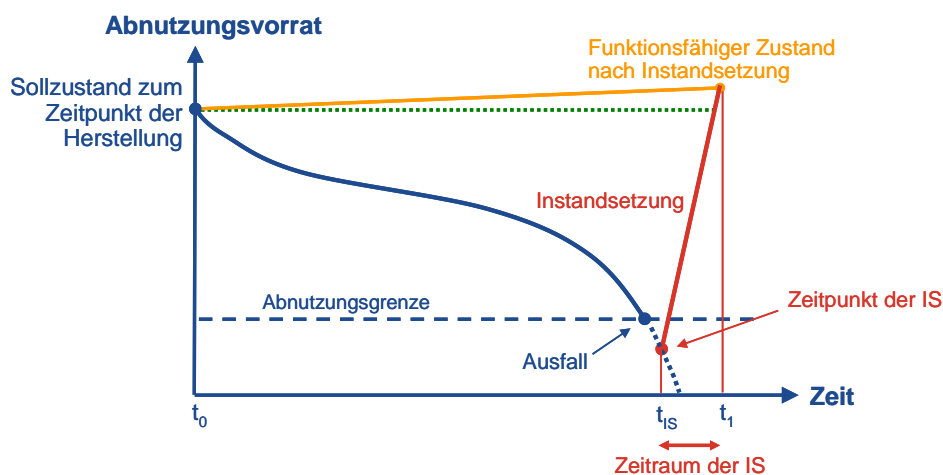
<sup>96</sup> aus a. a. O., S. 23

<sup>97</sup> Vgl. Klingenberg (2007), S. 27

<sup>98</sup> aus Ochs (2008), S. 24



**Abbildung 3-05:** Zeitpunkt der Instandsetzung bei Erreichen der Abnutzungsgrenze<sup>99</sup>



**Abbildung 3-06:** Zeitpunkt der Instandsetzung nach Erreichen der Abnutzungsgrenze<sup>100</sup>

#### d) Verbesserung

Als Verbesserung versteht man nach DIN 31051:2012 die „Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements zur Steigerung der Zuverlässigkeit und/oder Instandhaltbarkeit und/oder Sicherheit einer Einheit, ohne ihre ursprüngliche Funktion zu ändern“. Der Begriff Funktionssicherheit wird hierbei als „Fähigkeit, eine geforderte Funktion auszuführen, wenn sie gefordert wird“<sup>101</sup> definiert. Merkmale der Funktionssicherheit sind hierbei die Verfügbarkeit und ihre Einflussfaktoren (z.B. Zuverlässigkeit, Wiederherstellbarkeit, Instandhaltbarkeit).<sup>102</sup> Es wird demnach bei Verbesserungen nicht nur ein funktionsfähiger Zustand herge-

<sup>99</sup> aus ebenda

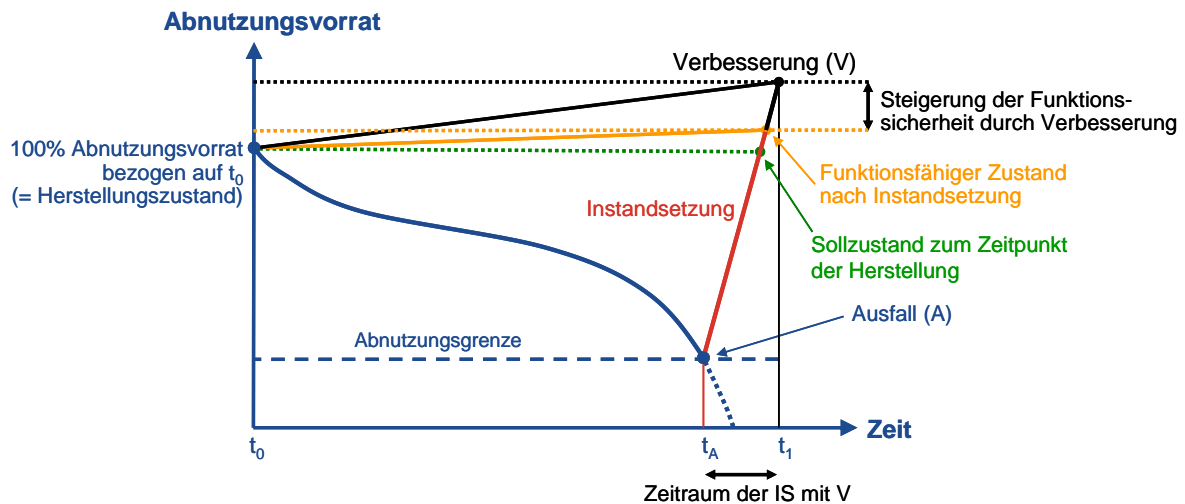
<sup>100</sup> aus a. a. O., S. 25

<sup>101</sup> Vgl. DIN 13306 (2010), S. 7 f.

<sup>102</sup> Vgl. a. a. O., S. 8

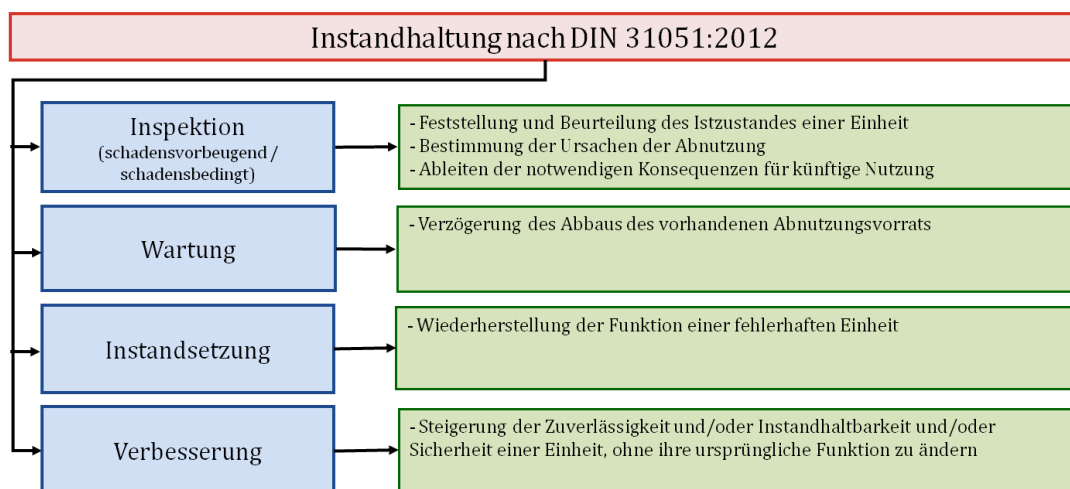


stellt, sondern zusätzlich die Verfügbarkeit in Form von Zuverlässigkeit der Betrachtungseinheit gesteigert. Im Vergleich zur Instandsetzung wird bei der Verbesserung ein Abnutzungsvorrat größer als 100 % aufgebaut.



**Abbildung 3-07:** Verbesserung als Steigerung der Funktionssicherheit einer Betrachtungseinheit<sup>103</sup>

In *Abbildung 3-08* sind die Grundmaßnahmen der Instandhaltung mit entsprechenden Erläuterungen dargestellt. Die DIN 31051:2012 unterscheidet die Begriffe Inspektion, Wartung, Instandsetzung und Verbesserung.



**Abbildung 3-08:** Grundmaßnahmen der Instandhaltung<sup>104</sup>

<sup>103</sup> aus Ochs (2008), S. 25

<sup>104</sup> aus a. a. O., S. 21

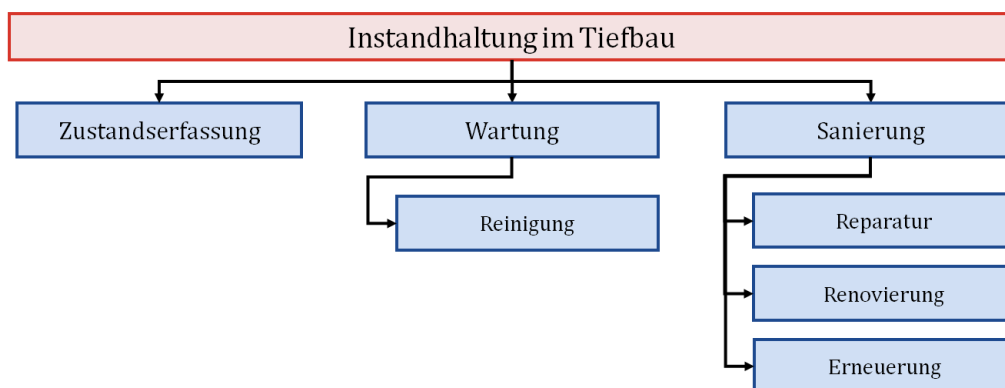
### 3.1.2 Instandhaltungsbegriff in der unterirdischen Infrastruktur

Im Zuge der Instandhaltung wird im Tiefbau, insbesondere bei Entwässerungssystemen, neben den Maßnahmen Reparatur und Renovierung gerade bei der Rückführung bzw. Wiederherstellung des funktionsfähigen Zustands (z.B. von Abwasserkanälen) immer von Sanierung gesprochen. Nach dem Verständnis der DIN 31051:2012 ist die Sanierung allerdings keine Maßnahme der Instandhaltung.

Der Grund hierfür ist sicherlich auf die Historie der DIN 31051 zurückzuführen. Ursprünglich wurde die DIN 31051 im Bereich Maschinenbau zum Thema Instandhaltung der Anlagentechnik von Maschinen zur Festlegung der Begrifflichkeiten erarbeitet. Im Bauwesen wurden wenige Zeit später die definierten Begrifflichkeiten auch auf die Anlagentechnik im Hochbau, die sogenannte technische Gebäudeausrüstung, adaptiert. Schließlich wurde das Thema von der Anlagentechnik<sup>105</sup> sukzessive auf die stationären und beweglichen Bauelemente<sup>106</sup> im Hochbau ausgeweitet.

Bei den Begriffsdefinitionen der Instandhaltung von Entwässerungssystemen im Tiefbau hat sich die DIN 31051:2012 nicht durchgesetzt. Es ergab sich vielmehr eine parallel laufende Entwicklung der Begriffsdefinitionen in der Fachwelt. Auch wenn beim Prüfen, Erhalten und Wiederherstellen von funktionsfähigen Zuständen bei Entwässerungssystemen von Inspektion, Reinigung, Renovierung, Reparatur und Erneuerung gesprochen wird, muss auch hier der Begriff Instandhaltung als Überbegriff aller Maßnahmen verstanden werden.

Im Bereich der Entwässerungssysteme werden mit Instandhaltung „Maßnahmen zur Bewahrung und Wiederherstellung des Sollzustandes sowie zur Feststellung und Beurteilung des Istzustandes von Entwässerungssystemen“<sup>107</sup> bezeichnet. Diese beinhalten hierbei „Maßnahmen der Wartung, der Zustandserfassung und der Sanierung“<sup>108</sup>. Als Zustandserfassung gelten wiederum „Maßnahmen zur Feststellung des Istzustandes von Entwässerungssystemen“<sup>109</sup>.



**Abbildung 3-09:** Unterteilung der Instandhaltung im Tiefbau

<sup>105</sup> z.B. Heizung, Förderanlage, Sprinkleranlage, Stromaggregate, Lufttechnische Anlage

<sup>106</sup> z.B. Dach, Fassade, Fenster und Türen, Fußboden, Wände, Decken

<sup>107</sup> Vgl. ATV-DVWK M-143-1 (2004), S. 10

<sup>108</sup> ebenda

<sup>109</sup> ebenda

Es fällt auf, dass in der Definition nach ATV-DVWK-M 143-1:2004 Verbesserung als Maßnahme der Instandhaltung nicht genannt wird. Die Aufnahme der Verbesserung als Bestandteil der Instandhaltung wird vielmehr indirekt vorgenommen, in dem der Begriff Sanierung nach DIN EN 752:2008 „Maßnahmen der Wiederherstellung und Verbesserung“ umfasst. Die Definition der Instandhaltung nach ATV-DVWK müsste entsprechend angepasst werden.

#### a) Zustandserfassung / Inspektion

Nach ATV-DVWK-M 143-1:2004 werden unter Zustandserfassung Maßnahmen zur Feststellung des Istzustandes von Entwässerungssystemen definiert. Es handelt sich hierbei um quantitative Meßverfahren und die konsekutiv erfolgende Erfassung des Zustands mittels TV-Befahrung oder Begehung.

Folgt der Zustandserfassung auch eine Beurteilung des festgestellten Istzustands, so entsprechen diese beiden Maßnahmen, einschließlich der Bestimmung der Ursachen der Abnutzung und dem Ableiten der notwendigen Konsequenzen für eine künftige Nutzung, der Definition der Inspektion nach DIN 31051:2012. Die Inspektion im Tiefbau kann demnach definiert werden als Durchführung von Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Istzustands von Entwässerungssystemen.<sup>110</sup>

Die Inspektion hat in der Instandhaltung von Entwässerungssystemen eine zentrale Bedeutung. Die Hauptaufgabe liegt in der Bereitstellung von Daten und Informationen über den Istzustand. Des Weiteren sollen der aktuelle Abnutzungsvorrat der jeweiligen Betrachtungseinheit und etwaige Schäden mit entsprechenden Ursachen frühzeitig erkannt werden, um mit möglichst geringem Aufwand für Wartung und Sanierung ein in allen seinen Teilen funktionstüchtiges Bauwerk in der geplanten Nutzungsdauer zu erhalten.<sup>111</sup>

#### b) Wartung

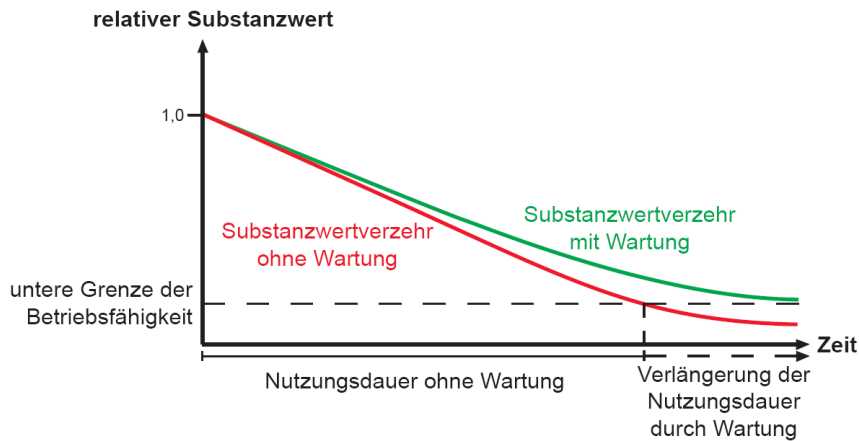
Im Gegensatz zur Definition der DIN 31051:2012, welche die Wartung lediglich als eine Maßnahme zur Verzögerung des Ausfallzeitpunkts versteht, definiert die DWA den Begriff Wartung als „Maßnahmen, die das Entwässerungssystem in einem Zustand erhalten, der die Betriebsfähigkeit gewährleistet“<sup>112</sup>. Demnach wird nach dieser Definition durch Wartung der Zeitpunkt der Betriebsunfähigkeit nicht erreicht (*siehe Abbildung 3-10*).

---

<sup>110</sup> Inspektion (im Tiefbau) = Zustandserfassung + Beurteilung des Istzustandes

<sup>111</sup> Vgl. Stein (1999), S. 201

<sup>112</sup> Vgl. ATV-DVWK M-143-1 (2004), S. 10



**Abbildung 3-10:** Substanzwertverzehr im Tiefbau mit und ohne Wartung

Die Wartung ist eng mit den beiden anderen Maßnahmengruppen der Instandhaltung im Tiefbau, der Inspektion und der Sanierung verbunden. Wartungsarbeiten sind dementsprechend beispielsweise immer mit Maßnahmen zum Inspizieren des Objektzustands und der Ermittlung von Ursachen beschäftigt. Die Wartung ist wegen ihrer prophylaktischen Wirkung und ihrer hohen Effektivität (große Wirkung bei technisch wie monetär überschaubarem Einsatz von Maßnahmen, z.B. Beseitigung von Ablagerungen) eine der wichtigsten Instandhaltungsmaßnahmen. Es werden technisch relativ einfache Maßnahmen konsequent realisiert. Der Nutzen einer ordnungsgemäß durchgeführten Wartung liegt nicht nur, wie im Hochbau, in der zeitlichen Verschiebung des Abbaus des Abnutzungsvorrates und damit in der Verlängerung der Nutzungsdauer von Kanalisationen, sondern auch in der Gewährleistung der Funktionsfähigkeit („Betriebsfähigkeit“).<sup>113</sup>

Ein wesentlicher Bestandteil der Wartung ist die Reinigung der Kanalisation. Neben der Beseitigung von Ablagerungen und Verstopfungen, um den freien Durchgang zu gewährleisten und die Geruchs- und Gasbildung durch Faulprozesse zu verhindern, gilt die Reinigung als vorbereitende Maßnahme für eine Kanalinspektion. Darüber hinaus dient die Reinigung, gelöst von dem Wartungsaspekt, insbesondere auch als vorbereitende Maßnahme für eine Sanierung.<sup>114</sup> „Bei allen Maßnahmen der Reinigung werden vorhandene Ablagerungen zunächst gelöst, zu einem Übergabepunkt, z.B. Schacht, transportiert, dort aufgenommen, ggfs. entwässert und entsorgt.“<sup>115</sup>

### c) Sanierung

Eine Definition zum Begriff Sanierung sucht man in der DIN 31051:2012 vergebens. Die Sanierung wird demnach nicht als ein Bestandteil der Instandhaltung angesehen. Sieht man sich allerdings im Regelwerk des Gebäudemanagements um, so wird Sanierung als „Leistungen zur Wiederherstellung des Sollzustandes von baulichen und technischen Anlagen, die nicht mehr den technischen,

<sup>113</sup> Vgl. Stein (1999), S. 177 f.

<sup>114</sup> Vgl. a. a. O., S. 178

<sup>115</sup> ebenda

wirtschaftlichen und/oder ökologischen sowie gesetzlichen Anforderungen entsprechen<sup>116</sup>, definiert. Im Vergleich zu den Grundmaßnahmen der Instandhaltung nach DIN 31051:2012 „ist der Abnutzungsvorrat des gesamten Gebäudes bei einer Sanierung komplett aufgebraucht, die [definierte] Ausfallgrenze [...] deutlich unterschritten. Durch Instandhaltungsmaßnahmen kann man in diesen Fällen den Abnutzungsvorrat des gesamten Gebäudes nicht wieder bis zu einem funktionsfähigen Zustand aufbauen.“<sup>117</sup> Die Sanierung ist demnach kein Bestandteil der Instandhaltung.

Im Tiefbau verhält sich dies anders. Sanierung wird hierbei als "Maßnahmen zur Wiederherstellung oder Verbesserung von vorhandenen Entwässerungssystemen"<sup>118</sup> definiert. Diese Definition zeigt einen unmittelbaren Bezug der DIN EN 752:2008 zur DIN 31051:2012, indem die Sanierung als Oberbegriff für die Teilaspekte Instandsetzung und Verbesserung festgelegt wird.

Die Sanierung stellt somit einen eigenen Teilaspekt der Instandhaltung dar und kann durch die Kombination von Instandsetzungen und Verbesserungen auch als „nachhaltige Instandsetzung und umfassende Modernisierung auf lange Sicht“<sup>119</sup> verstanden werden.

Die Wiederherstellung oder Verbesserung vorhandener Entwässerungssysteme kann durch die Maßnahmen Reparatur, Renovierung und Erneuerung durchgeführt werden. Betrachtet man die Sanierung als Kombination aus Instandsetzung und Verbesserung, so kann die **Reparatur** als „Maßnahme zur Behebung örtlich begrenzter Schäden“<sup>120</sup> dementsprechend auch als Instandsetzung interpretiert werden. Die **Renovierung** entspricht der Verbesserung nach DIN 31051, da sie im Rahmen der Sanierung als „Maßnahmen zur Verbesserung der aktuellen Funktionsfähigkeit von Abwasserleitungen und -kanälen unter vollständiger oder teilweiser Einbeziehung ihrer ursprünglichen Substanz“<sup>121</sup> verstanden wird.

Weiterer Bestandteil der Sanierung ist die **Erneuerung**. Die hier zur Anwendung kommenden Maßnahmen werden im Unterschied zur Reparatur und Renovierung nicht an der bestehenden Bausubstanz durchgeführt; es kommt vielmehr zur Herstellung neuer Leitungen und Kanäle in der bisherigen oder in einer neuen Linienführung. Als Teil der baulichen Sanierung wird hierbei nur die Erneuerung in der bisherigen Linienführung gesehen. Die Erneuerung in anderer Linienführung entspricht dem Neubau und gilt demnach nicht als Sanierungsmaßnahme.<sup>122</sup> Innerhalb der Erneuerungsmaßnahmen muss demnach zwischen Sanierungs- und Neubaumaßnahmen differenziert werden. Die Erneuerung in anderer Linienführung stellt kein Bestandteil der baulichen Sanierung und daraus folgend auch nicht der Instandhaltung dar.

In *Abbildung 3-11* sind alle Begriffe der Instandhaltung im Tiefbau abschließend grafisch zusammengefasst.

<sup>116</sup> Vgl. DIN 32736 (2000), S. 3

<sup>117</sup> Vgl. Ochs (2008), S. 30

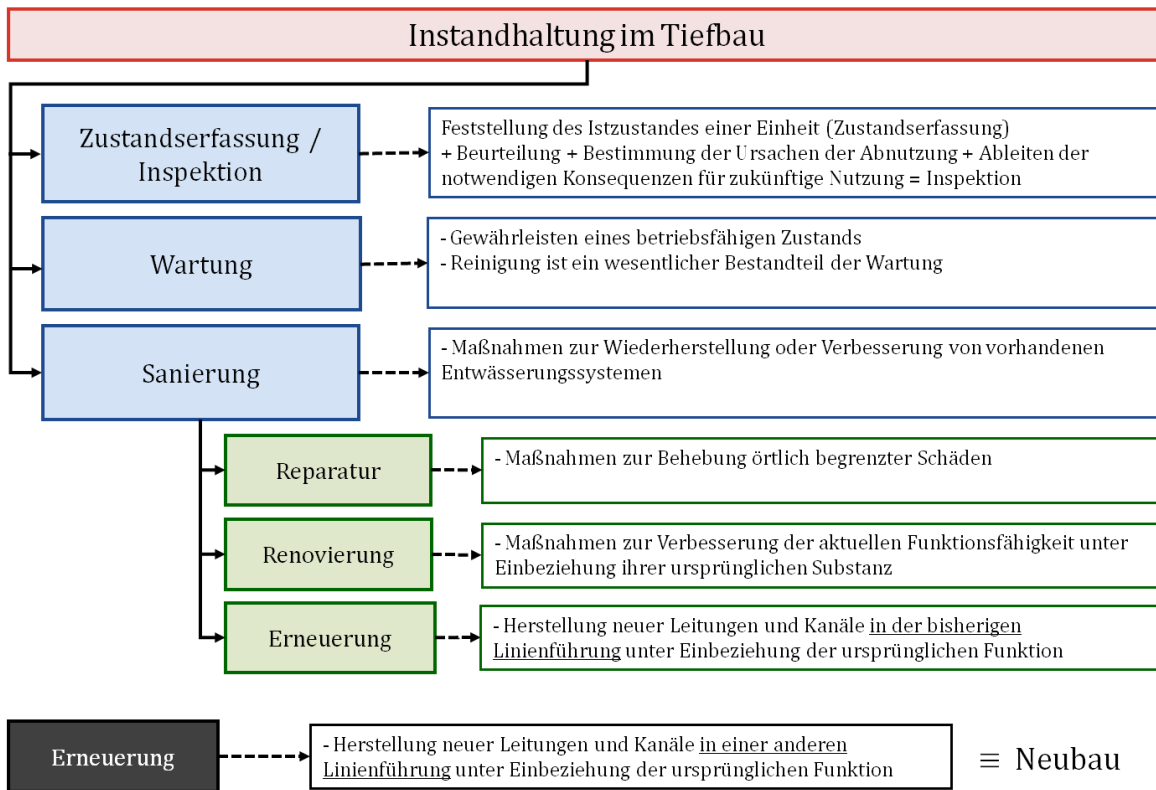
<sup>118</sup> Vgl. DIN EN 752 (2008), S.13

<sup>119</sup> Vgl. Neddermann (2005), S. 51 sowie Huff (2009), S. 35

<sup>120</sup> Vgl. DIN EN 752 (2008), S. 13

<sup>121</sup> ebenda

<sup>122</sup> Vgl. ATV-DVWK-M 143-1 (2004), S. 21



**Abbildung 3-11:** Instandhaltung im Tiefbau

### 3.1.3 Instandhaltungsstau

Im Hochbau kann die Abnutzungsgrenze einer Betrachtungseinheit<sup>123</sup> durch die Anforderungen des Nutzers an die Verfügbarkeit definiert werden. Je nach Festlegung wird dadurch der vereinbarte Mindestwert des Abnutzungsvorrates charakterisiert, bevor es zum Ausfall der Betrachtungseinheit kommt.<sup>124</sup> Das Annähern oder Erreichen der Abnutzungsgrenze sollte somit die Durchführung von Instandsetzungen oder Verbesserungen auslösen. Zwingend erforderlich werden Instandhaltungsmaßnahmen jedoch nur, wenn die weitere Immobiliennutzung infolge des Ausfalls der Betrachtungseinheit unmöglich ist. Werden mit dem Erreichen der Abnutzungsgrenze keine Instandhaltungsmaßnahmen durchgeführt, kann es zu Folgeschäden mit entsprechenden Ausfallfolgekosten an angrenzenden Gebäudekomponenten kommen. Bleibt der Betreiber einer Immobilie vermehrt untätig, so hat dies einen Instandhaltungsstau zur Folge.<sup>125</sup>

Bei Entwässerungsnetzen muss die Abnutzungsgrenze vor dem vollständigen Verzehr des Abnutzungsvorrats liegen. Aus Gründen des Umweltschutzes darf es bei keiner Haltung zum Ausfall kommen, was einer Funktionsunfähigkeit entsprechen würde; korrekatives Eingreifen wäre die Kon-

<sup>123</sup> (Betrachtungs-)Einheit = „Teil, Bauelement, Gerät, Teilsystem, Funktionseinheit, Betriebsmittel oder System, das/die für sich allein beschrieben und betrachtet werden kann. Eine Anzahl von Einheiten, z. B. ein Komplex von Einheiten oder ein Muster, kann selbst als Einheit angesehen werden.“ [vgl. DIN EN 31051:2012-09, S. 7]

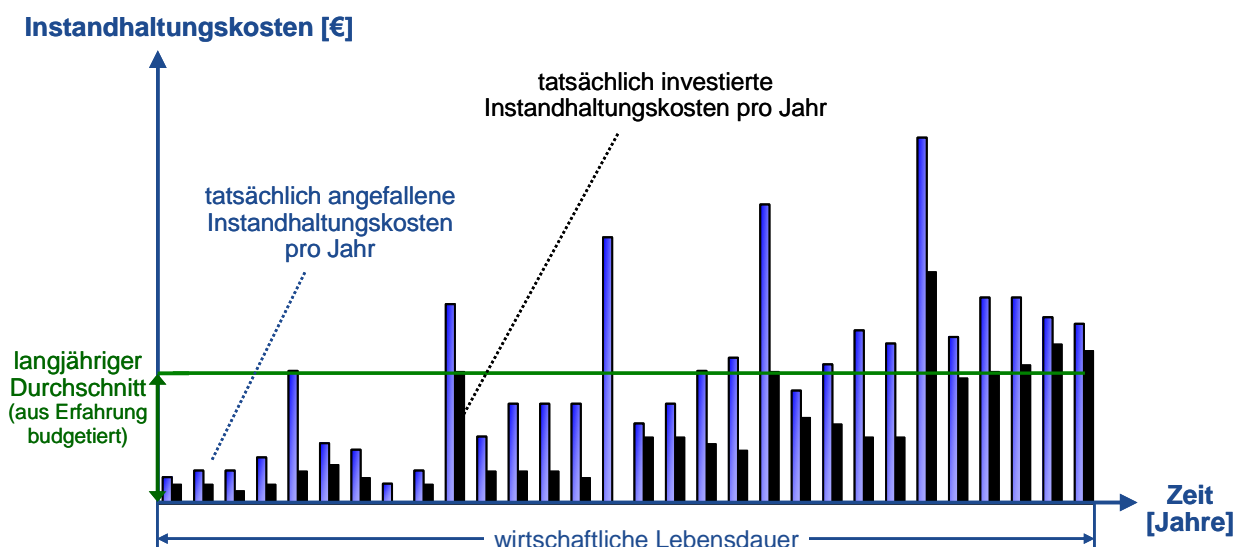
<sup>124</sup> Vgl. Ochs (2008), S. 77 f.

<sup>125</sup> Vgl. Klingenberg (2007), Seite 88

sequenz. Es muss vielmehr präventiv saniert werden. Werden allerdings auch hierbei vor dem Erreichen der Abnutzungsgrenze keine Sanierungsmaßnahmen ergriffen, so kommt es in der Regel zwar nicht zu Folgeschäden an anderen Haltungen, bei weiterem Untätigbleiben aber ebenfalls zu einem Sanierungs- oder Instandhaltungsstau.

Es gilt zu konstatieren, dass die Entwässerungsnetze der Kommunen in Deutschland über Jahrzehnte gewachsen sind. Demnach variiert die Altersstruktur im Netz sehr stark. Neben den zyklisch nach Ablauf der Nutzungsdauer anfallenden Sanierungskosten führen auch nutzungsbedingte Schäden (durch wechselnde Wasserstände, statische und dynamische Belastungen sowie mechanische Beanspruchungen, z.B. durch Kanalreinigungsverfahren, verursacht) zu Sanierungsmaßnahmen mit entsprechenden Kosten. Diese Schäden finden sich sowohl an neueren wie auch an älteren Kanälen. Es ist ein fortlaufender Prozess, in dem nach qualifizierter Sanierung entstandener Schäden an anderer Stelle weitere Schäden entstehen, und entsprechend saniert werden muss. Wird nicht regelmäßig in die Sanierung investiert, so baut sich ein Sanierungs- bzw. Instandhaltungsstau auf, den es neben den neu entstehenden Schäden abzarbeiten gilt.

Ein beispielhafter Kostenganglinien-Verlauf von tatsächlich angefallenen und von tatsächlich investierten Sanierungskosten (Instandhaltungskosten) sowie der aus Erfahrung budgetierte langjährige Durchschnitt sind in *Abbildung 3-12* dargestellt.

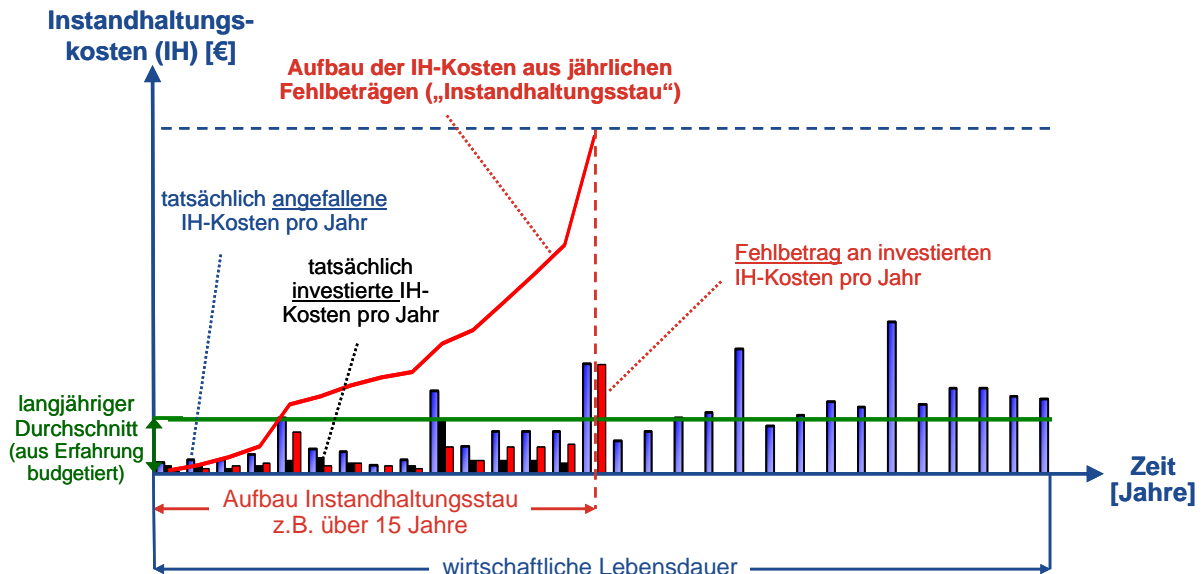


**Abbildung 3-12:** Tatsächlich angefallene und investierte Instandhaltungskosten pro Jahr im Vergleich<sup>126</sup>

Bleiben die tatsächlich investierten Sanierungskosten regelmäßig hinter den angefallenen Kosten zurück, so bildet sich aus der Differenz ein „Fehlbetrag“ an investierten Sanierungskosten. Es baut sich von Jahr zu Jahr die Notwendigkeit von Sanierungsmaßnahmen auf. Wurden keine oder zu geringe jährliche Rückstellungen für Sanierungsarbeiten gebildet, und können dadurch die anfal-

<sup>126</sup> aus Ochs (2008), S.78

lenden Sanierungskosten nicht mehr abgedeckt werden, so spricht man von einem Instandhaltungs- oder Sanierungsstau (*siehe Abbildung 3-13*).<sup>127</sup>



**Abbildung 3-13:** Aufbau eines Instandhaltungsstaus nach z.B. 15 Jahren<sup>128</sup>

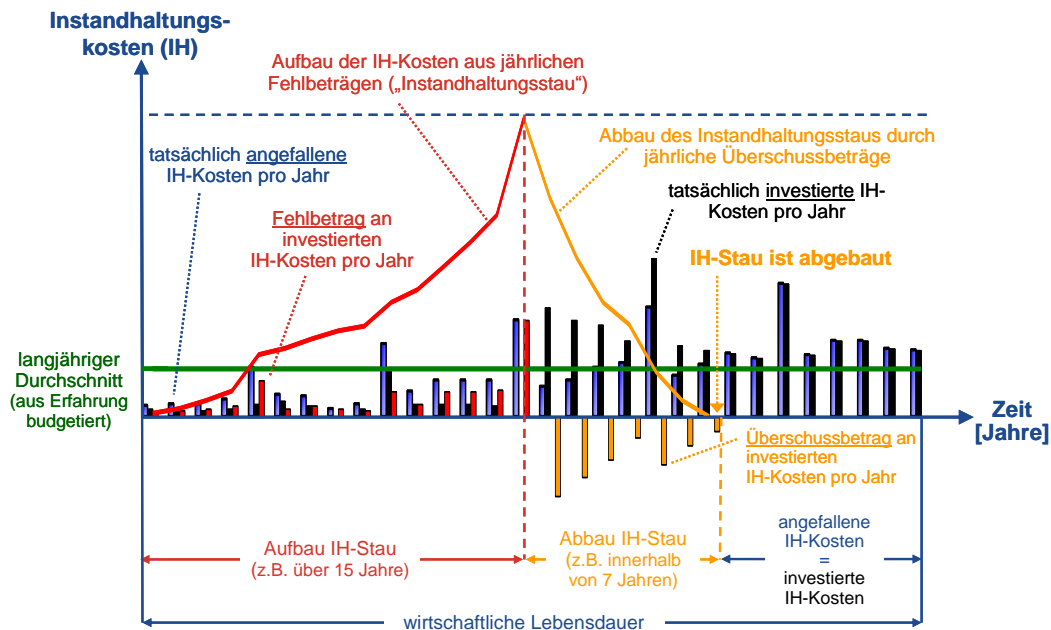
Wird bei einem Entwässerungsnetz ein Sanierungsstau festgestellt, so wurden bis zu diesem Zeitpunkt i.d.R. keine oder zu wenig Rückstellungen für Sanierungsmaßnahmen gebildet und somit auch keine oder zu wenig Sanierungsmaßnahmen durchgeführt. Dementsprechend ist die Beseitigung eines Instandhaltungsstaus mit einem enormen Kostenaufwand verbunden. Neben den nach Feststellung eines Instandhaltungsstaus weiterhin jährlich anfallenden Sanierungskosten muss auch ein „Überschussbetrag“ pro Jahr zum Abbau des Instandhaltungsstaus aufgebracht werden. Dieser zusätzliche Überschussbetrag an investierten Sanierungskosten pro Jahr sorgt für den erforderlichen Abbau des Instandhaltungsstaus bis zur vollständigen Beseitigung. In *Abbildung 3-14* wird beispielhaft ein über 15 Jahre aufgebauter Instandhaltungsstau innerhalb von 7 Jahren durch jährliche Überschussbeträge wieder abgebaut. Danach kommt es zu einer ordnungsgemäßen Sanierung, indem die investierten Sanierungskosten den tatsächlich angefallenen Kosten bzw. Bedarf entsprechen.<sup>129</sup>

<sup>127</sup> ebenda

<sup>128</sup> aus a. a. O., S. 79

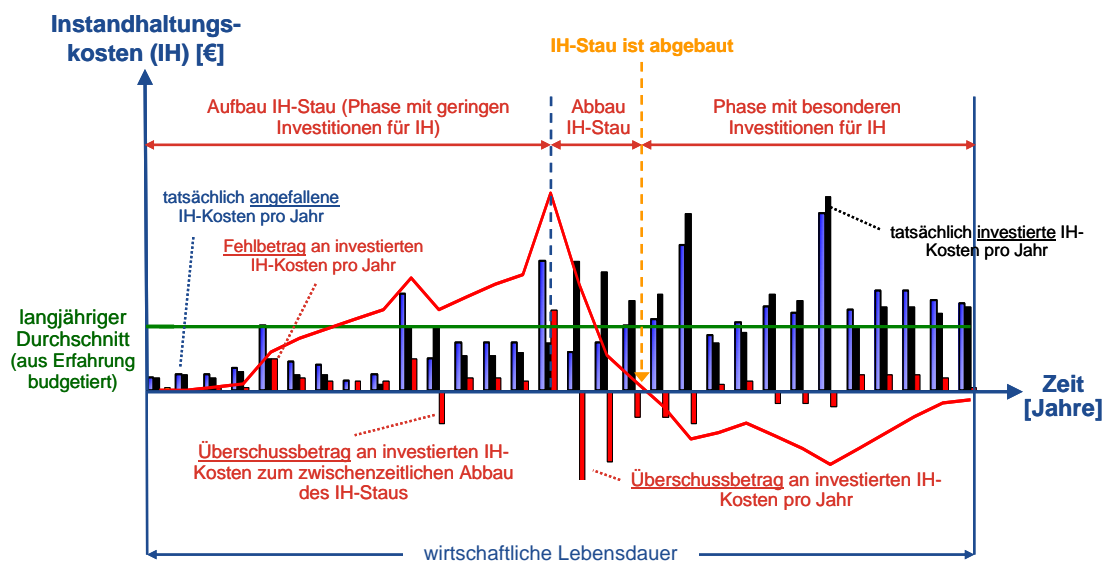
<sup>129</sup> ebenda





**Abbildung 3-14:** Abbau eines Instandhaltungsstaus innerhalb von z.B. 7 Jahren<sup>130</sup>

Gelöst von der qualitativen Darstellung des Auf- und Abbau eines Instandhaltungsstaus wird in *Abbildung 3-15* beispielhaft eine Übersicht über den möglichen Instandhaltungsverlauf des Entwässerungsnetzes einer Kommune über die wirtschaftliche Nutzungsdauer gegeben.<sup>131</sup>



**Abbildung 3-15:** Exemplarische Übersicht eines möglichen Verlaufs der investierten Instandhaltungskosten (z.B. Verbesserung) über die wirtschaftliche Lebensdauer<sup>132</sup>

<sup>130</sup> aus a. a. O., S. 80

131 ebenda

132 aus ebenda

In den ersten 15 Jahren baut sich sukzessive ein Instandhaltungsstau auf, in dem die tatsächlich investierten Sanierungskosten pro Jahr hinter den tatsächlich anfallenden Kosten pro Jahr zurück bleiben. Es kommt zu einem Fehlbetrag an investierten Sanierungskosten. Lediglich in einem Jahr liegen die tatsächlich investierten Sanierungskosten über den tatsächlich angefallenen, was zu einem zwischenzeitlich geringen Abbau des Instandhaltungsstaus führt. Es findet in dieser Zeit ein schleichender Substanzwertverzehr statt.

Nach 15 Jahren realisiert der Entwässerungsbetrieb den erheblichen Instandhaltungsstau und stellt fest, über die vergangenen Jahre hinweg zu wenig Sanierung betrieben zu haben. Unter der Annahme, dass dem Entwässerungsbetrieb genügend Finanzmittel zur Verfügung stehen, investiert er in den folgenden 7 Jahren über die tatsächlich anfallenden Sanierungskosten hinaus. Der hieraus entstehende Überschussbetrag an investierten Sanierungskosten sorgt für den Abbau des Instandhaltungsstaus nach 7 Jahren.

Liegen die investierten Sanierungskosten nach Abbau des Instandhaltungsstaus weiterhin über den tatsächlich anfallenden Kosten, so sorgt der Eigentümer für einen besonderen Instandhaltungszustand. Das Entwässerungsnetz ist in dieser Phase überdurchschnittlich instand gehalten, eventuell verbessert worden. Über den Substanzwerterhalt hinaus ist ein Zugewinn (oder eine Steigerung) des Substanzwertes realisiert worden.<sup>133</sup>

## **3.2 Zustandsbeurteilung**

### **3.2.1 Allgemeines**

Nach dem DWA-Merkblatt 149-3 wird die Zustandsbeurteilung definiert als „Einstufung der Ergebnisse der Inspektion nach dem Handlungsbedarf aufgrund der gestellten Anforderungen sowie maßgeblicher Einflussfaktoren. Sie besteht aus den Teilschritten Zustandsklassifizierung und Zustandsbewertung“<sup>134</sup>.

Stand der Technik ist es, die Zustandsbeurteilung ausschließlich bezogen auf die Sanierungspriorität durchzuführen. Dabei wird zunächst der bauliche Zustand erfasst und das Objekt mit Hilfe des größten Einzelschadens in eine Zustandsklasse eingeordnet. Anschließend erfolgt die Einbeziehung hydraulischer, ökologischer und sonstiger Randbedingungen. Das Ergebnis ist eine bauliche Dringlichkeitsliste, aus der die Sanierungspriorität abgeleitet werden kann.<sup>135</sup> Die prioritätsbezogene Zustandsbewertung von Haltungen orientiert sich am größten Einzelschaden der Haltung. Da hierbei zum einen die Schadensdichte nicht ausreichend berücksichtigt und zum anderen nicht zwischen Reparaturschaden (behebbarer Ausfall) und Substanzschaden (endgültiger Ausfall) differenziert wird, scheint die prioritätsbezogene Zustandsbewertung für einen langfristigen und nachhalti-

---

<sup>133</sup> Vgl. a. a. O., S. 81

<sup>134</sup> Vgl. DWA-M 149-3 (2007), S. 9

<sup>135</sup> Vgl. Schmidt (2009), S. 30

gen Substanzwerterhalt nicht ausreichend zu sein. Es müssen zur prioritätsbezogenen Bewertung parallel auch substanzbezogene Bewertungen durchgeführt werden.

Die Notwendigkeit hierfür wurde bereits in der Fachwelt seit längerem erkannt. Der Aspekt hat allerdings noch in keinem Regelwerk Eingang gefunden. Dementsprechend muss in diesem Zusammenhang von „Stand der Wissenschaft“ statt „Stand der Technik“ gesprochen werden.<sup>136</sup>

Bis zum Erscheinen des DWA-Merkblatts 149-3:2007 war das Vorgängerdokument ATV-M 149:1999 gültig. Die Zustandsbeurteilung erfolgt im aktuellen Merkblatt in den gleichen Grundzügen wie im alten Merkblatt, das Bewertungsverfahren wurde allerdings bezüglich der Einzelschäden präziser (14 statt 9 Hauptschadensgruppen) und das Kodiersystem wurde verändert. Die wichtigste Änderung stellt die Aufteilung des Bewertungsverfahrens in drei Teilstränge dar, die den drei Schutzzielen Dichtheit, Betriebssicherheit und Standsicherheit zugeordnet sind. Nach ATV-M 149 wurden bauliche, umweltrelevante und hydraulische Aspekte gemeinsam berücksichtigt.

### **3.2.2 Zustandserfassung und Dokumentation**

Zustandserfassung bedeutet in erster Linie, das Entwässerungssystem zu inspizieren. Durch die Vorgaben der Eigenkontrollverordnung der Länder muss das gesamte Kanalnetz einer jeden Kommune oder Stadt alle 10 Jahre inspiziert werden. Dieser Inspektion des Gesamtnetzes mit entsprechender Klassifizierung, Bewertung und anschließender Beurteilung der Schäden folgt die Wahl von Sanierungsverfahren, mit denen die Entwässerungsnetze wieder in einen gebrauchsfähigen Zustand gebracht werden. Die Eigenkontrollverordnungen der Länder resultieren aus den Vorgaben des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) und den Landeswassergesetzen, die eine allgemeine Sorgfaltspflicht des Betreibers der Kanalisation festlegen.

Die Zustandserfassung nach DWA-M 149-2:2006 ist die Grundlage für die nachfolgenden Schritte der Zustandsklassifizierung und -bewertung. Hierbei wird eine Inneninspektion – nach dem Stand der Technik mit ferngesteuerter Kamera – mit einer qualitativen Zustandsbeschreibung durchgeführt. Festgestellte Schäden werden mit einem Kodiersystem festgehalten, wobei sowohl die Art jedes Schadens als auch die genaue Lage angegeben werden. Die Anforderungen an das Kodiersystem sind in DIN EN 13508-2:2011 geregelt. Als Gemeinschaftspublikation zu dieser Norm wurde von der DWA das Merkblatt 149-2:2006 „Kodiersystem für die optische Inspektion“ mit Beschreibungen und Ergänzungen der Codes herausgegeben.

Reicht eine qualitative Zustandserfassung nicht aus, so werden weitere Untersuchungen im Rahmen einer quantitativen Zustandserfassung durchgeführt, um Ablagerungen, Lageabweichungen, Verformungen, Innenkorrosion und mechanischen Verschleiß oder Bettungsbedingungen quantitativ feststellen zu können.<sup>137</sup>

---

<sup>136</sup> Vgl. a. a. O., S. 29

<sup>137</sup> Vgl. Stein (1999), S. 231

Die erkannten Schäden werden neben wichtigen Bestands- und Betriebsinformationen im Rahmen der „Zustandsdokumentation“ erfasst. Die Dokumentation stellt demnach das Bindeglied zwischen den von Technikern durchgeführten Inspektionen bzw. Zustandserfassungen und der ingenieurmäßigen Zustandsbewertung dar. Gerade in der Dokumentation muss sehr gründlich gearbeitet werden, da die Fehler in der Dokumentation regelmäßig Fehler in der anschließenden Bewertung nach sich ziehen.<sup>138</sup>

### 3.2.3 Zustandsklassifizierung und Zustandsbewertung

Nach DWA-M 149-3 ist die Zustandsklassifizierung „die Einstufung der Ergebnisse der Inspektion durch Vergleich mit den gestellten Anforderungen“<sup>139</sup>. Sie beinhaltet die Einordnung von Kanälen, Schächten und Bauwerken der Ortsentwässerung aufgrund ihres baulichen und betrieblichen Zustandes in Zustandsklassen und ist von einer qualifizierten, vom Bereich der Inspektion unabhängige Fachkraft durchzuführen. Dabei müssen Schadensbild und Schadensausmaß berücksichtigt werden.

Für die Zustandsklassifizierung ist zunächst die Erfassung aller Einzelschäden (*siehe Kapitel 3.2.2*) erforderlich. Wird die Zustandsklasse EDV-unterstützt ermittelt, so ist diese sorgfältig zu überprüfen. Nachdem die Zustandsklassen für die Einzelschäden vergeben wurden, erfolgt eine Verdichtung auf die jeweilige Bewertungseinheit (Schacht, Haltung, Bauwerk). Dabei fließen mindestens der größte Einzelschaden im betrachteten Bereich, Häufigkeit und Schweregrad weiterer Schäden sowie die Längenausdehnungen der Einzelschäden ein. Gegebenenfalls sind aufgrund gravierender Schäden an diesem Punkt bereits Sofortmaßnahmen einzuleiten, beispielsweise bei Funktionsbeeinträchtigungen, die die betriebliche Funktion der Bewertungseinheit aufheben oder bei Gefährdungen von Mensch und Umwelt.<sup>140</sup> Ein Modell zur Zustandsklassifizierung und -bewertung wird beispielhaft mit ISYBAU in *Kapitel 3.2.4* vorgestellt.

Mit der Zustandsbewertung werden die Ergebnisse der Klassifizierung mit wichtigen Randbedingungen verknüpft. Dadurch ist es möglich, die Schäden in Hinblick auf die Schutzziele Reinhaltung von Grundwasser und Schutz des Bodens, Erhalt der Funktion der Abwasseranlagen sowie Standsicherheit von baulichen Anlagen zu bewerten. Die Einbeziehung der Randbedingungen ist auf das zur Klassifizierung angewandte Verfahren abzustimmen und kann umfassend oder auf einzelne Anforderungen begrenzt sein.

Wesentliche Randbedingungen mit Einfluss auf die grundlegenden Anforderungen an ein regelkonformes Entwässerungssystem Dichtheit, Standsicherheit und Betriebssicherheit sind in folgender Tabelle dargestellt:

---

<sup>138</sup> Vgl. Schmidt (2009), S. 25

<sup>139</sup> Vgl. DWA-M 149-3 (2007), S. 9

<sup>140</sup> Vgl. Stein (1999), S. 297 f.

**Tabelle 3-01:** Relevanz wesentlicher Randbedingungen<sup>141</sup>

Randbedingung	Dichtheit	Standssicherheit	Betriebssicherheit
Material	o	+	o
Überdeckung (Leitung) / Tiefe (Schacht)	o	+	+
Kanalnutzung	o	o	+
Baujahr (Einfluss auf Art der Rohrverbindung)	+	o	o
Wanddicke	o	+	o
Lage zum Grundwasser	+	+	o
Bodengruppe	o	+	o
Lagerungsart / Bettung (Leitung)	o	+	o
Hydraulische Auslastung	+	o	+
Lage am Umfang	+	o	o
<b>ANMERKUNG</b> o keine Auswirkung + Auswirkung			

### 3.2.4 Modellbeispiele zur Zustandsbeurteilung

#### a) System nach Arbeitshilfen Abwasser

##### *Grundlagen (Kodiersystem ISYBAU)*

ISYBAU ist ein im Auftrag des Bundes für die Bau- und Wehrverwaltungen entwickeltes System zur Schadensbeurteilung, zum Austausch digital erfasster Kanalnetzdaten und zur einheitlichen Bestandsdokumentation. Eine grundlegende Anforderung des Bundes an dieses System ist die automatisiert durchführbare Klassifizierung und Bewertung mit entsprechenden EDV-Werkzeugen unter der Zielsetzung, liegenschaftsübergreifend vergleichbare Ergebnisse zu erhalten.

Das System ISYBAU besteht aus einem Kodiersystem für Schäden nach den Anforderungen von DIN EN 13508-2 und einem Klassifizierungs- und Bewertungssystem. Es wird kontinuierlich fortgeschrieben und entspricht in seiner aktuellen Form dem Stand der Technik. Weitere Bewertungssysteme basieren wie ISYBAU auf dem DWA-Merkblatt M 149-3 oder auf den „Arbeitshilfen Abwasser“ selbst.<sup>142</sup>

Sowohl das Kodier- als auch das Beurteilungssystem nach ISYBAU werden in den „Arbeitshilfen Abwasser“ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) sowie des Bundesministeriums der Verteidigung (BMVg) dokumentiert. „Im Zuständigkeitsbereich der Bau-

<sup>141</sup> aus DWA-M 149-3 (2007), S. 15

<sup>142</sup> Vgl. Schmidt (2009), S. 30

verwaltungen der Länder sind die Arbeitshilfen verbindlich anzuwenden. Im Geltungsbereich des BMVg haben sie den Status einer Baufachlichen Richtlinie.<sup>143</sup>

Das Kodiersystem „ISYBAU Austauschformate Abwasser“ stellt die zurzeit gängige Schnittstelle verschiedener Software für die Kanalsanierung dar und dient dem Austausch digitaler Daten zwischen Auftraggeber (z.B. Staatliches Baumanagement) und Auftragnehmer (z.B. Ingenieurbüro) oder anderen Projektbeteiligten (z.B. Ingenieurbüro für Vermessung oder Inspektionsfirma) im Rahmen einer einheitlichen Bestandsdokumentation. Alle Elemente sind im öffentlich verfügbaren XML-Format beschrieben wobei die Struktur der Daten genau vorgegeben ist.<sup>144</sup>

#### *Allgemeines zur Beurteilung der Schäden*

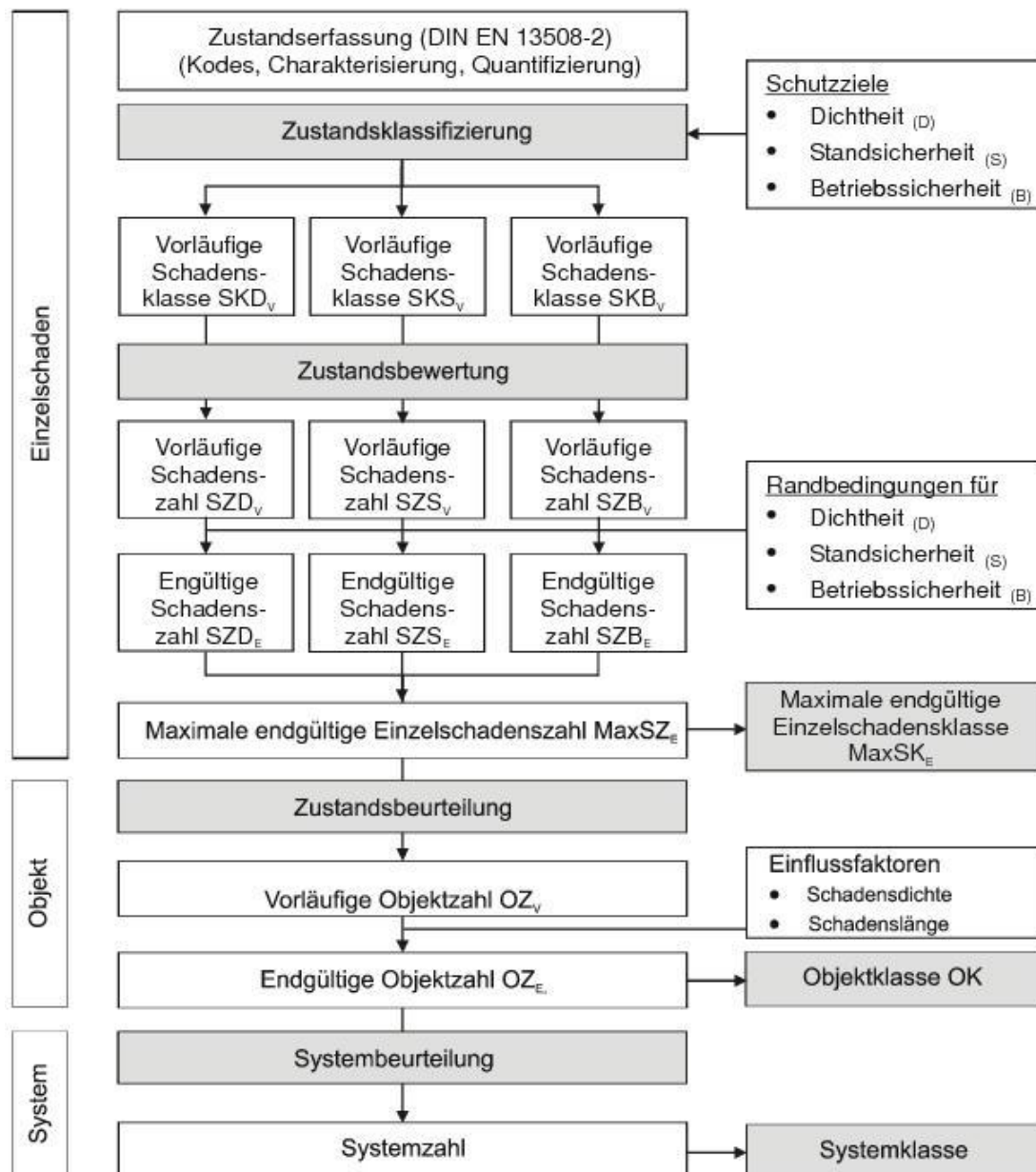
Die Beurteilung der Schäden beim System „Arbeitshilfen Abwasser“ gliedert sich in die bautechnische Zustandsklassifizierung und -bewertung unter Berücksichtigung baulicher, betrieblicher und umweltrelevanter Gefährdungsaspekte und die hydraulische Zustandsklassifizierung.<sup>145</sup> Auch bei der Zustandsbeurteilung nach „Arbeitshilfen Abwasser“ bildet die Zustandserfassung durch die Inspektion die Grundlage für die Bewertung. In *Abbildung 3-16* ist die Vorgehensweise bei der Beurteilung der Schäden nach „Arbeitshilfen Abwasser“ dargestellt.

---

<sup>143</sup> Vgl. Lehne / Scholz (2005), S. 540

<sup>144</sup> Vgl. BMVBS (2012), Internetportal, Anhang A-7.1, aufgerufen am 25.05.2012

<sup>145</sup> Vgl. a. a. O., Anhang A-3, aufgerufen am 25.05.2012



**Abbildung 3-16:** Ablauf der Zustandsklassifizierung und -bewertung mit ISYBAU<sup>146</sup>

### Bautechnische Zustandsklassifizierung<sup>147</sup>

Bei der Zustandsklassifizierung werden die festgestellten Einzelschäden zunächst in Zustandsklassen eingeteilt. Diese Einteilung erfolgt dabei separat für die **Schutzziele Dichtheit, Standsicherheit und Betriebssicherheit** in Abhängigkeit von der Schadensart und dem Schadensausmaß. Die Klassen reichen dabei von 1 (Ausmaß am geringfügigsten) bis 5 (Ausmaß am größten). Die Zuordnung von Schadensart und -ausmaß zu den einzelnen Klassen ist in Klassifizierungstabel-

<sup>146</sup> aus a. a. O., Anhang A-3.1, aufgerufen am 25.05.2012

<sup>147</sup> Vgl. a. a. O., Anhang A-3.1.1, aufgerufen am 25.05.2012

len vorgegeben, welche z.B. über die Arbeitshilfen Abwasser online einsehbar sind. So wird zum Beispiel ein zu 70 % in den Hauptkanal einragender Anschluss immer in die Betriebssicherheits-schadensklasse „4“ eingeordnet, für die Schadensklassen Standsicherheit und Dichtheit erfolgt keine Einordnung, da der Schaden für sich auf diese Aspekte keinen Einfluss hat.

Ergebnis der bautechnischen Zustandsklassifizierung sind somit für jeden Schaden bis zu drei *vorläufige*, auf die Schutzziele bezogene *Einzel-schadensklassen*:

- SKD<sub>v</sub> (Dichtheit)
- SKS<sub>v</sub> (Standsicherheit)
- SKB<sub>v</sub> (Betriebssicherheit)

#### *Bautechnische Zustandsbewertung*<sup>148</sup>

Im Teilschritt der Zustandsbewertung werden nach der Zustandsklassifizierung auch die lokalen Randbedingungen berücksichtigt. Dazu werden zunächst die bereits ermittelten *vorläufigen Einzel-schadensklassen* in *vorläufige Einzelschadenszahlen* transformiert (dies geschieht für jede der drei Einzelschadensklassen):

**Tabelle 3-02:** Transformation von Schadensklasse in Schadenszahl<sup>149</sup>

vorläufige Schadens <u>klasse</u>	vorläufige Schadens <u>zahl</u>
1	10
2	100
3	200
4	300
5	400

Als nächstes erfolgt die Verknüpfung mit den lokalen Randbedingungen. Dabei werden je nach vorliegender Randbedingung Punkte zu den einzelnen Schadenszahlen hinzugerechnet oder abgezogen. Dieser Vorgang erfolgt nach folgender Tabelle:

---

<sup>148</sup> Vgl. a. a. O., Anhang A-3.1.2, aufgerufen am 25.05.2012

<sup>149</sup> aus ebenda



**Tabelle 3-03:** Zusatzpunkte für die Zustandsbewertung<sup>150</sup>

Randbedingung	Kriterium	Zusatzpunkte		
		Dichtheit	Standssicherheit	Betriebs-sicherheit
Entwässerungssystem	Fließgewässer kanalisiert	-50	Nicht von Relevanz	0
	Regenwasser	-30		0
	Schmutzwasser	30		40
	Mischwasser	30		40
Abwasserart	Wassergefährdende Stoffe	150	Nicht von Relevanz	Nicht von Relevanz
Wasserschutzzone	außerhalb einer Wasserschutzzone	0	Nicht von Relevanz	Nicht von Relevanz
	Schutzzone IIIb	20		
	Schutzzone IIIa	40		
	Schutzzone II	250		
	Schutzzone I	400		
Grundwasserabstand	Gerinne oberhalb des Grundwasserleiters	0	0	Nicht von Relevanz
	Gerinne in der Wechselzone	10	10	
	Gerinne im Grundwasserleiter	10	10	
Bodenart	Lehm, Ton	0	40	Nicht von Relevanz
	Sandiger Lehm, Löss, Lehmiger Sand, Feinsand	15	20	
	Mittel-, Grobsand, Kies	30	0	
Lage am Umfang	03 bis 09 Uhr	10	0	20
	09 bis 03 Uhr	0	10	0
	Gesamter Umfang	10	20	20
Lage an einer Verbindung	Ja	10	Nicht von Relevanz	Nicht von Relevanz
	Nein	0		

Nach Addition bzw. Subtraktion der Zusatzpunkte durch die lokalen Randbedingungen ergeben sich drei *endgültige Schadenszahlen* (eine pro Schutzziel):

- SZD<sub>E</sub> (Dichtheit)
- SZS<sub>E</sub> (Standssicherheit)
- SZB<sub>E</sub> (Betriebssicherheit)

Die Schäden werden dann mit Hilfe der Schadenszahlen nach *Tabelle 3-04* in *endgültige Einzelschadensklassen* eingeteilt.

**Tabelle 3-04:** Ermittlung der endgültigen Einzelschadensklasse<sup>151</sup>

endgültige Einzelschadenszahl	endgültige Einzelschadensklasse
0 – 99	1
100 – 199	2
200 – 299	3
300 – 399	4
≥ 400	5

<sup>150</sup> aus ebenda

<sup>151</sup> aus ebenda

Die größte auf ein Schutzziel bezogene Einzelschadenszahl ( $SZD_E$ ,  $SZS_E$ , oder  $SZB_E$ ) ist zugleich die *maximale endgültige Einzelschadenszahl*  $MaxSZ_E$ , die zusammen mit der maximalen endgültigen Einzelschadensklasse  $MaxSK_E$  (nach *Tabelle 3-04* aus  $MaxSZ_E$  ermittelt), Schutzziel übergreifend in Abhängigkeit

- von der Schadensart,
- vom Schadensumfang sowie
- von den örtlichen Randbedingungen

das größte Gefährdungspotenzial eines Einzelschadens aufzeigen.

### *Bautechnische Zustandsbeurteilung*<sup>152</sup>

Mit der Zustandsbeurteilung erfolgt die Verdichtung der Klassifizierungs- und Bewertungsergebnisse auf ein Objekt, also eine Kanalhaltung, eine Leitung oder einen Schacht. Die Beurteilung erfolgt dabei ohne die in den vorherigen Teilschritten vorgenommene Aufteilung auf die einzelnen Schutzziele. Mit Hilfe weiterer in den „Arbeitshilfen Abwasser“ enthaltener Tabellen und Formeln wird eine Prioritätenliste für die Sanierungsbedürftigkeit unter Berücksichtigung des größten Einzelschadens aus Zustandsklassifizierung und -bewertung und der Dichte des Ausmaßes sowie der Längenausdehnung aller Einzelschäden innerhalb des Objekts erstellt.

Das Ergebnis der Zustandsbeurteilung ist die *endgültige Objektklasse* für ein Objekt (Haltung, Leitung, Schacht). Die Objektklasse gibt in genereller Form Auskunft über die Sanierungsdringlichkeit abwassertechnischer Anlagen:

**Tabelle 3-05:** Bedeutung der Objektklassen<sup>153</sup>

Objektklasse	Bedeutung
Klasse 0	schadensfrei, kein Handlungsbedarf
Klasse 1	geringfügige Schäden, ohne unmittelbar festzulegenden Handlungsbedarf
Klasse 2	langfristiger Handlungsbedarf
Klasse 3	mittelfristiger Handlungsbedarf
Klasse 4	kurzfristiger Handlungsbedarf
Klasse 5	umgehender Handlungsbedarf (i.d.R. Sofortmaßnahme)

Aus den Objektklassen kann eine Prioritätenliste abgeleitet werden, welche einen groben Überblick über den Zustand des Entwässerungssystems gibt und eine Rangfolge über die Sanierungsbedürftigkeit der entwässerungstechnischen Anlagen beinhaltet. Für ein konkretes Bauprogramm bzw. eine Sanierungsplanung ist diese Liste allerdings nicht ausreichend. Hierfür sind weitere Randbedingungen wie z.B. hydraulische Missstände oder verkehrstechnische Belange zu berücksichtigen.

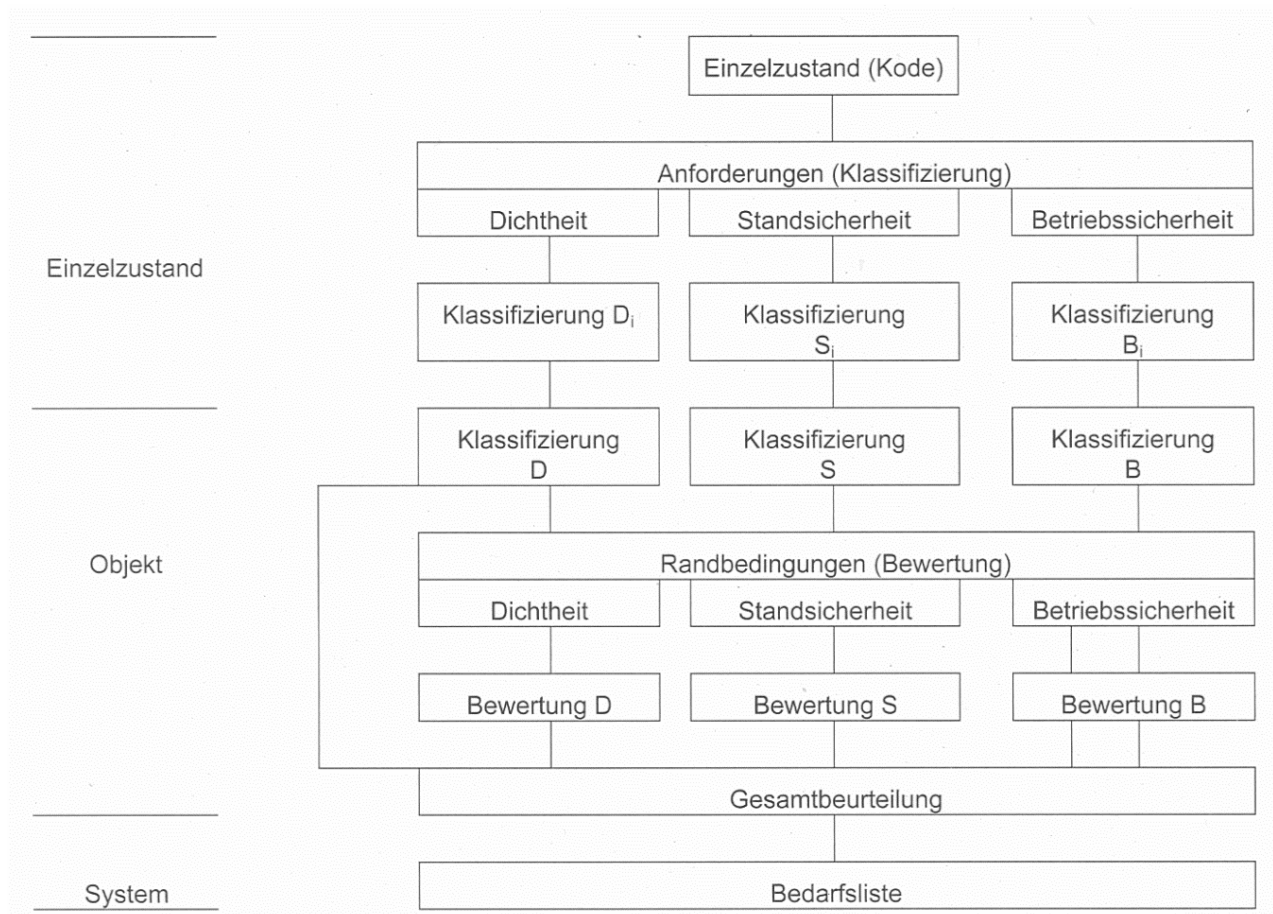
<sup>152</sup> Vgl. a. a. O., Anhang A-3.1.3 und A-3.1.6, aufgerufen am 25.05.2012

<sup>153</sup> aus a. a. O., Anhang A-3.1.6, aufgerufen am 25.05.2012

## b) Beurteilungsmodell nach DWA-M 149-3<sup>154</sup>

### Allgemeines

Die Beurteilung nach DWA-M 149-3 gliedert sich in die üblichen Schritte Zustandserfassung, -klassifizierung, -bewertung und abschließende Beurteilung. Hierbei werden die Teilschritte Klassifizierung und Bewertung analog zum „Arbeitshilfen Abwasser“-Modell den Schutzzielen Dichtheit, Standsicherheit und Betriebssicherheit zugeordnet. In *Abbildung 3-17* ist der Arbeitsablauf zur Zustandsbeurteilung nach DWA-M 149-3 schematisch dargestellt.



**Abbildung 3-17:** Arbeitsablauf zur Zustandsbeurteilung nach DWA-M 149-3<sup>155</sup>

### Zustandsklassifizierung

Zur Klassifizierung der Einzelschäden werden Tabellen verwandt, die jedem Schaden je nach Schweregrad eine **Zustandsklasse von 0 (sehr starker Mangel, Gefahr im Verzug) bis 5 (nicht relevant)** bezogen auf jedes Schutzziel zuweisen. Aus den schwersten Einzelschäden je

<sup>154</sup> Vgl. DWA-M 149-3 (2007), S. 22-27

<sup>155</sup> aus a. a. O., S. 24

Schutzziel ergeben sich die Zustandsklassen des Objekts. Im nächsten Schritt erfolgt eine Umrechnung der Objektzustandsklassen in Zustandspunkte, weiterhin werden zusätzliche Zustandspunkte für die relative gewichtete Schadensdichte addiert.

#### *Zustandsbewertung*

Die Bewertung erfolgt über je einen anforderungsbezogenen Randbedingungsfaktor zwischen 0 und 1 pro Schutzziel. Der Randbedingungsfaktor ergibt sich aus den einzelnen Randbedingungs-werten (z.B. Überdeckung, Bodengruppe). Je größer der Randbedingungsfaktor, desto ungünstiger wirken sich die Randbedingungen auf ein Schutzziel aus. Nach der Auswertung aller Randbedin-gungen werden für jedes Objekt Bewertungspunkte vergeben. Hierbei fließen die Zustandspunkte aus der Klassifizierung sowie die Randbedingungsfaktoren ein.

#### *Zusammenfassende Beurteilung*

Um den Zustand eines Objekts vergleichbar zu machen, erfolgt eine Zusammenfassung der Bewer-tungsergebnisse. Hierbei wird eine Sanierungsbedarfszahl ermittelt, in die die Bewertungspunkte aller drei Schutzziele einfließen. Je größer die Sanierungsbedarfszahl, desto schlechter ist der Zu-stand bzw. desto dringlicher der Handlungsbedarf. Aus der Sortierung der zu beurteilenden Objek-te nach der Sanierungsbedarfszahl ergibt sich unter Berücksichtigung rechtlicher Vorschriften und ggf. zusätzlichen Anforderungen die Bedarfsliste für die Sanierung des baulichen / betrieblichen Zustandes.

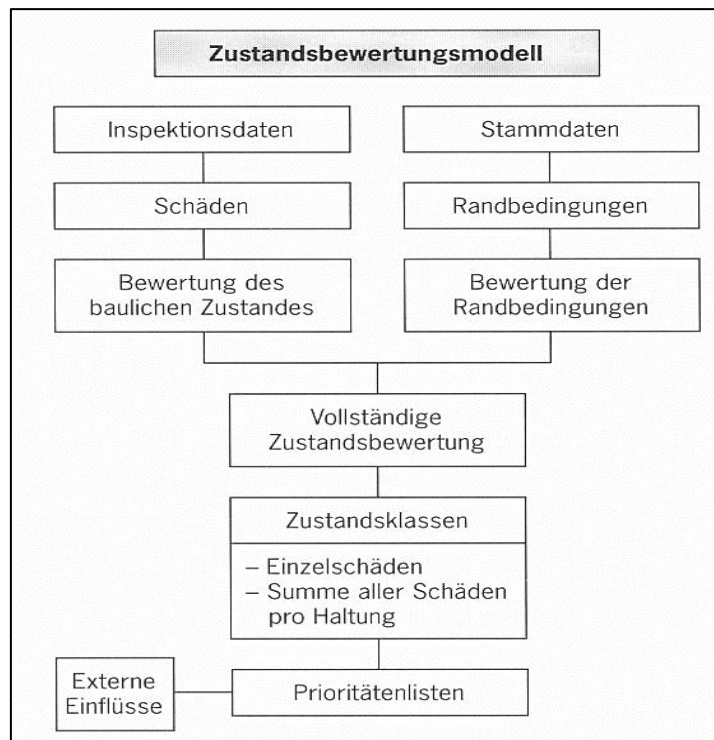
### **c) Zustandsbewertungssystem KAPRI<sup>156</sup>**

Neben den beschriebenen Modellen gibt es in Deutschland noch weitere Systeme zur Zustandsbe-wertung. Die existierenden Systeme stellen in der Regel Adaptionen der Verfahren aus dem Merk-blatt ATV-M 149 bzw. DWA-M 149 oder den „Arbeitshilfen Abwasser“ dar und werden deswegen im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter verfolgt. Ein Nachteil der betrachteten Modelle ist, dass im Endeffekt der schwerste Einzelschaden die Zustandsklasse der gesamten Haltung bestimmt und somit die entsprechende Sanierungspriorität festlegt.

Um zumindest die Summe aller Einzelschäden an einer Haltung zur Grundlage der Sanierungsprio-ritäten betrachten zu können, kann auf das Zustandsbewertungssystem KAPRI (Abkürzung für **K**analsanierungs-**P**rioritäten) zurückgegriffen werden. Das Schema der Zustandsbewertung ist in folgender Abbildung dargestellt:

---

<sup>156</sup> Vgl. Stein (1999), S. 314 ff.



**Abbildung 3-18:** Schema der Kanalzustandsbewertung mit KAPRI<sup>157</sup>

Die Bewertung des baulichen Zustandes erfolgt dabei durch eine starre Grundbewertung für die generelle Art des Schadens, ergänzt um eine dynamische „Faktorisierung“ aufgrund der Dimension des Schadensausmaßes. Zunächst wird hierbei für die generelle Art des Schadens eine Grundpunktzahl vergeben, die anschließend aufgrund des Schadensausmaßes mit Faktoren multipliziert wird. Für die Randbedingungen erfolgt die Bewertung unabhängig vom baulichen Zustand entsprechend der Aufgaben eines Abwasserkanals unter Berücksichtigung der Aspekte Standsicherheit, Umweltbelastung und hydraulische Funktionsfähigkeit des Kanals. Es wird insbesondere die Einwirkung des Schadens auf seine Umwelt geprüft und somit das Gefährdungspotential eines Schadens abgeschätzt und quantifiziert.

Die vollständige Zustandsbewertung ergibt sich aus der Verknüpfung der beiden separat ermittelten Ergebnisse für die Bewertung des baulichen Zustandes und die Bewertung der Randbedingungen. Im letzten Schritt werden die bewerteten Objekte über die in der vollständigen Zustandsbewertung ermittelten Zustandspunkte in fünf Zustandsklassen eingeordnet. Dabei wird **sowohl die Summe aller Einzelschäden als auch der größte Einzelschaden pro Haltung** betrachtet, wodurch eine durch gravierende Einzelschäden bedingte Fehleinschätzung des Sanierungsbedarfs der gesamten Haltung verhindert werden soll. Den Ergebnissen entsprechend werden Prioritätenlisten aufgestellt, in denen zusätzlich externe Einflüsse wie Straßenbaupläne einbezogen werden können.

<sup>157</sup> aus a. a. O., S. 316

### 3.2.5 Zusammenfassung Zustandsbeurteilung

Die Vielzahl der im Rahmen der Untersuchungen zur Schadensverteilung ausgewerteten Schäden verdeutlicht die Wichtigkeit des Themas Substanzwerterhalt der öffentlichen Kanalisation.<sup>158</sup> Der bisherige Fokus liegt dabei auf einer möglichst wirtschaftlichen Erhaltung des Kanalnetzes an der Grenze der Funktionsfähigkeit. Viele Kommunen verfolgen die „Feuerwehrstrategie“ und gefährden sowohl die Umwelt als auch den Substanzwert des Kanalnetzes, denn ein frühzeitiges Beheben eines Schadens ist langfristig gesehen billiger als das Abwarten bis zum Totalausfall.

Es ist davon auszugehen, dass sich die Kosten für Sanierungsmaßnahmen in den nächsten Jahren weiter erhöhen. In den letzten Jahren war diese Entwicklung sehr deutlich. Die Kommunen greifen dabei zunehmend auf die billigere Sanierungsform der Reparatur zurück, statt mit Renovierung oder Erneuerung auf teurere aber langfristige Maßnahmen zu setzen. Der Bevölkerung muss die Notwendigkeit umfangreicher Sanierungsmaßnahmen bewusst gemacht werden, da ansonsten ein erheblicher Wertverlust der öffentlichen und privaten Infrastruktur zu befürchten ist.<sup>159</sup>

Im Vergleich der Bewertungsverfahren entspricht die Methodik nach ISYBAU (Arbeitshilfen Abwasser) zwar dem Stand der Technik,<sup>160</sup> allerdings ergeben sich durch die geringe Auswahl an Randbedingungen, die einen Einfluss auf die Bewertung haben Nachteile gegenüber anderen Modellen. Die Fachliteratur attestiert dem ISYBAU-Modell darüber hinaus Mängel im Bereich der Erstellung von Sanierungsprioritäten; hier bieten andere Modelle eher Vorteile.<sup>161</sup>

Die Beurteilungsschemas und -maßstäbe der einzelnen Modelle weichen teilweise stark voneinander ab, somit wird ein direkter Vergleich erschwert. Durch das im November 2007 erschienene DWA-Merkblatt M 149-3 in Verbindung mit der neuen DIN EN 13508-2 könnte eine Vereinheitlichung der Bewertungssysteme erreicht werden.

In Zukunft sollte ein erhöhtes Augenmerk auf die substanzwertorientierte Instandhaltung des Kanalnetzes gelegt werden.<sup>162</sup> Es ist daher nötig, von einer kurzfristigen Betrachtungsweise zu einer langfristigen zu wechseln, bei der nicht die aktuellen Kosten den alleinigen Ausschlag zur Sanierung geben. Um auf lange Sicht einen möglichst wirtschaftlichen nachhaltigen Betrieb gewährleisten zu können müssen primär eine möglichst lange Lebensdauer und der Wert des Kanalnetzes berücksichtigt werden. Die Kosten der Kanalsanierung lassen sich nicht beliebig in die Zukunft verschieben, wodurch sich letztlich die Kosten eher erhöhen würden, statt sich zu verringern.

Neue Bewertungsmodelle, die den Substanzwert berücksichtigen sind bereits auf dem Markt (z.B. Bietigheimer Modell, STATUS Kanal). Diese werden vermehrt zur Anwendung kommen, wenn die Aufgabenträger die Notwendigkeit der substanzwertorientierten Betrachtungsweise erkannt haben.

---

<sup>158</sup> Vgl. Berger / Lohaus (2005), S. 528

<sup>159</sup> Vgl. Berger / Falk (2011), S. 38

<sup>160</sup> Vgl. Schmidt (2009), S. 30

<sup>161</sup> Vgl. Stein (1999), S. 334

<sup>162</sup> Vgl. Körkemeyer / Hochstrate / Trujillo Alvarez (2004), S. 154

Im Ergebnis dieser Modelle resultiert aus der Zustandsklassifizierung und -bewertung eine ausschließlich bauliche Dringlichkeitsliste. Aus dieser kann die Sanierungsbedürftigkeit gerade unter substanzwertorientierten Aspekten abgeleitet und eine Prioritätenliste in Bezug auf die schadhaften zu sanierenden Kanäle formuliert werden. In der darauffolgenden Sanierungsplanung muss unter strategischen Gesichtspunkten der Ausführungszeitpunkt der Sanierung geprüft und das bestgeeignete Sanierungsverfahren ausgewählt werden.

### **3.3 Sanierungsverfahren**

#### **3.3.1 Verfahrensübersicht**

Die Hauptaufgabe eines Entwässerungsbetriebes ist der Funktionserhalt der Kanalisation zur Schmutz- und Abwasserbeseitigung. Um dieser Aufgabe gerecht zu werden, bedarf es dichter, schadensfreier Kanäle, die frei von Abflusshindernissen sind. Aufgrund der starken Beanspruchungen, innen durch angreifende Abwässer sowie außen durch Erddruck und aggressive Substanzen, entstehen an den Kanälen mit der Zeit Schäden wie Risse, Brüche, Erosion, Korrosion, Ablagerungen und Materialermüdungen. Zur Sanierung solcher Schäden stehen verschiedene bauliche Verfahren zur Verfügung.

Um vergleichbare und aussagekräftige Ergebnisse nicht nur für Ballungszentren, sondern auch für eher ländliche Gegenden zu bekommen, werden im Folgenden insbesondere Verfahren beschrieben, die im Nennweitenbereich kleiner DN 800 zur Anwendung kommen. Dies ist die Abgrenzung vom begehbaren zum nicht-begehbaren Bereich.<sup>163</sup> Diese Abmessungen finden sich auch bei geringen Siedlungsdichten wieder.<sup>164</sup> Weiterhin sind rund 85 % aller Schäden in Kanälen mit Nennweiten kleiner DN 800 zu verzeichnen.<sup>165</sup> Somit ist dieser Nennweitenbereich das potentiell größte Anwendungsgebiet der Sanierungsverfahren.

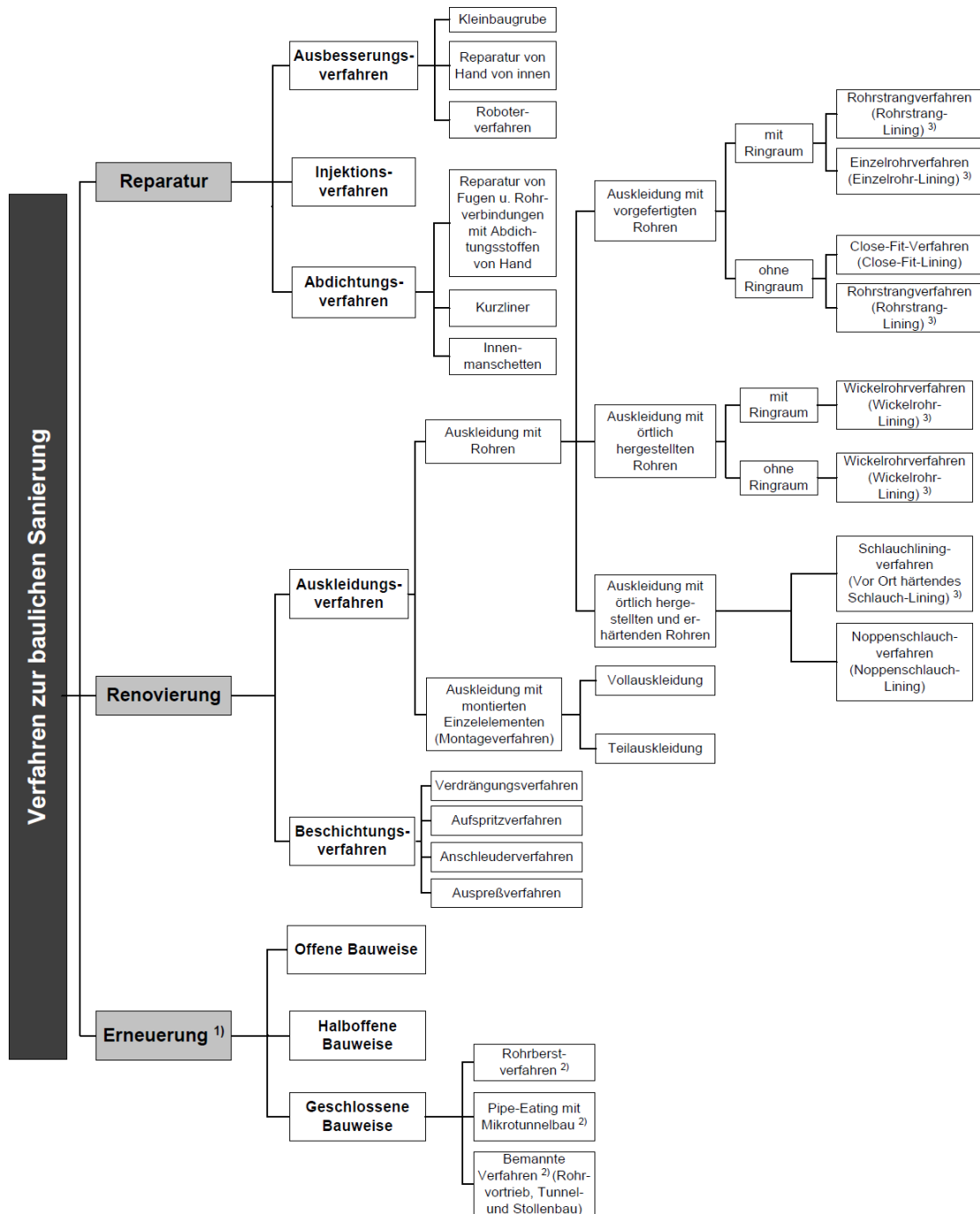
Im Folgenden wird ein Überblick über die üblichen baulichen Sanierungsverfahren gegeben.

---

<sup>163</sup> nach Definition der Tiefbau-Genossenschaft (TBG)

<sup>164</sup> Vgl. MURL NRW (1999), S. 50

<sup>165</sup> Vgl. Berger / Lohaus (2005), S. 8



<sup>1)</sup> Erneuerung in der bisherigen Linienführung. Erneuerung in anderer Linienführung entspricht dem Neubau und wird daher hier nicht behandelt.

<sup>2)</sup> Begriffe nach DIN EN 12889 "Grabenlose Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen" (Ausgabe 03/2000).

<sup>3)</sup> Begriffe in Klammern entsprechen denen nach DIN EN 13566-1 "Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen) - Teil 1: Allgemeines" (Ausgabe 04/2003).

**Abbildung 3-19:** Überblick über die Verfahrenshauptgruppen<sup>166</sup>

<sup>166</sup> aus ATV-DVWK-M 143-1 (2004), S. 21



### 3.3.2 Reparaturverfahren

#### Grundsätzliches

Nach DIN EN 752:2008 werden als Reparatur „Maßnahmen zur Behebung örtlich begrenzter Schäden“ verstanden. Die Reparaturverfahren sind demnach reine Instandsetzungsverfahren zur Sanierung punktueller Einzelschäden, die die Wiederherstellung des Sollzustands zum Ziel haben. Der wirtschaftliche Einsatz von Reparaturtechniken setzt allerdings eine begrenzte Anzahl vorliegender Einzelschäden voraus. Steigt die Anzahl an Einzelschäden innerhalb eines Kanals, so werden Reparaturtechniken zunehmend unwirtschaftlich. In diesem Fall bietet sich bei geeigneten Bedingungen der Einsatz von Renovierungsverfahren an.<sup>167</sup>

Im Rahmen der Reparaturverfahren werden im Bereich der nicht-begehbaren Kanäle **Ausbesserungsverfahren** (z.B. Roboterverfahren), **Injektionsverfahren** (z.B. Flutungsverfahren oder Packerverfahren) und **Abdichtungsverfahren** (z.B. Kurzliner oder Innenmanschetten) unterschieden.

#### Roboterverfahren

Um in nichtbegehbaren Kanälen eine Reparatur vorzunehmen, bedarf es der Hilfe von Robotern. Diese können mit verschiedenen Aufsätzen bestückt werden und auf diese Weise Arbeiten wie „Bohren, Fräsen, Injizieren, Spachteln, Verpressen, Schleifen und Setzen von Schalungen und Absperrblasen“<sup>168</sup> verrichten. Die Roboter werden von dem Schacht aus, der dem Schaden am nächsten gelegen ist, eingefahren. Die Arbeiten im Kanal selbst werden mit einer eingebauten Kamera überwacht.



**Abbildung 3-20:** Roboterverfahren, Fräs- und Schleifarbeiten<sup>169</sup>

<sup>167</sup> Vgl. BMVBS (20129, Internetportal, Anhänge 6.2.1 Reparaturverfahren, aufgerufen am 21.06.2012

<sup>168</sup> Vgl. MURL-NRW (1999), S. 54

<sup>169</sup> Vgl. <http://www.rssr.cc/home/robotersanierung/>, aufgerufen am 04.12.2010

Das Verfahren wird eingesetzt, um schadhafte Rohrverbindungen abzudichten. Zur Herstellung einer haftbaren Oberfläche wird diese zunächst mit einem Fräskopf angeraut. Eventuelle Infiltration ist per Injektion provisorisch abzudichten. Anschließend wird der Schaden mit einem pastösen Epoxidharz oder einem mineralischen Material eingespachtelt oder mit Hilfe eines „Verpressschuhs“ verpresst. Nach Erhärtung werden mit einem Fräskopf überschüssiges Material und Unebenheiten entfernt.<sup>170</sup> Da alle Arbeiten mit dem Roboter ausgeführt werden, ist die Qualität der Arbeit maßgeblich von den Fähigkeiten des Gerätebedieners abhängig.

Der Vorteil des Verfahrens liegt neben dem grabenlosen Bauen darin, dass der hydraulische Querschnitt des Rohres nicht verengt wird, da der Schaden in der vorhandenen Kanalwandung selbst behoben wird. Ebenfalls entfällt im Allgemeinen, außer bei Arbeiten an der Rohrsohle, ein Absperren des Kanals mit eventuell zugehöriger Wasserhaltung. Eingesetzt werden kann das Verfahren sowohl in Kreis- als auch in Eiprofilen aus Werkstoffen wie Beton, Stahlbeton, Steinzeug, Asbestzement oder Metall. Die eingesetzten Sanierungsmaterialien sind in der Regel von besserer Qualität (Materialeigenschaften) als der Rohrwerkstoff.

Beim Roboterverfahren wird von einer hohen Nutzungsdauer von etwa 50 Jahren ausgegangen. Dies sind allerdings nur rein statistische Vorhersagen, da aufgrund der bisher durchgeführten Reparaturen der letzten Jahre noch keine zuverlässigen Auswertungen zum Langzeitverhalten vorgenommen werden können.

**Tabelle 3-06:** Randbedingungen, Vor- und Nachteile beim Roboterverfahren<sup>171</sup>

Randbedingungen	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• DIN 200 bis 800</li> <li>• Kreis- und Eiprofil</li> <li>• Beton, Stahlbeton, Steinzeug, Asbestzement, Metalle</li> <li>• In Bögen beschränkt einsetzbar</li> <li>• Max. Haltungslänge ca. 140 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unabhängig von Überdeckungshöhe und Baugrundverhältnissen</li> <li>• Keine nennenswerte Reduzierung des hydraulischen Querschnitts (nur geringer Materialauftrag)</li> <li>• Die eingesetzten Sanierungsmaterialien weisen gegenüber dem Rohrwerkstoff i.d.R. die besseren Materialeigenschaften auf</li> <li>• Bei infiltrierendem Grundwasser mit vorausgehender Injektion einsetzbar</li> <li>• Hohe geschätzte Nutzungsdauer (50 Jahre)</li> <li>• Keine Baugrube erforderlich</li> <li>• Maßnahmen zur Sicherung der Vorflut im Allgemeinen nicht erforderlich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Behebung der Schadensursache, z.B. von Bettungsdefiziten</li> <li>• Sanierungserfolg bei Scherbenbildungen und komplexen Rissstrukturen in unbewehrten Rohrmaterialien (z.B. Steinzeug und Beton) nicht immer garantiert</li> <li>• Erforderliche Fräsarbeiten verursachen ggf. eine Destabilisierung der Schadensbereiche (insbesondere bei Rissen)</li> <li>• Keine Erfahrung zum Langzeitverhalten</li> <li>• Qualität des Sanierungsergebnisses wesentlich vom Gerätebediener abhängig</li> <li>• Geringe Elastizität der Dichtstoffe</li> <li>• Wechseln der Arbeitswerkzeuge zeitaufwändig</li> <li>• Relativ teuer</li> </ul>

<sup>170</sup> Vgl. MURL-NRW (1999), S. 54

<sup>171</sup> Vgl. a. a. O., S. 56 sowie BMVBS (2012), aufgerufen am 21.06.2012

### Injektionsverfahren (Packerverfahren)

Bei der partiellen Injektion wird vom Startschacht ein Packersystem mit Hilfe einer im Zielschacht stehenden Winde an die schadhafte Stelle gebracht. Die Positionierung wird von einer vor dem Packer angebrachten Kamera überwacht. Anschließend werden die Manschetten mit Druck an die Kanalwand angelegt. Ein Ablauf des Abwassers ist während des Verfahrens durch die Mitte der Packersysteme weiterhin möglich. Das Injektionsmaterial wird über den eng anliegenden Packer-raum in die Zwischenräume und das umgebende Erdreich eingebracht. Nach Injektion erstarrt das Material und erzeugt einen druckfesten, dichten Mantel außerhalb des Rohres.

Als Injektionsmaterial kann entweder Gel oder Harz verwendet werden. Beides dringt je nach Viskosität sowohl in die Kanalwand als auch in die dahinter befindlichen Hohlräume ein. Hohlräume werden dabei als Klüfte, Spalten, Risse, kavernöse Strukturen und Poren in Fest- oder Lockerstein sowie Tonböden oder als Spalten, Risse, Fugen und Poren in Bauwerken oder zwischen Bauwerk und Untergrund verstanden.<sup>172</sup> Durch die Einbeziehung der vorhandenen Kanalwand wird der Querschnitt bei diesen Verfahren nicht reduziert.



**Abbildung 3-21:** Injektionsverfahren, Packersystem<sup>173</sup>

Beim **Injektionsverfahren mit Harz (IVmH)** wird in der Regel Isocyanatharz (Polyurethan- oder Silikatharz) als Injektionsmaterial verwendet. Durch die abdichtenden Eigenschaften und die stabilisierende Wirkung bei Strukturschäden am Altrohr und bei schadhaftem Rohrbett kann dieses Verfahren insbesondere zur punktuellen und abschnittswisen Abdichtung bei sichtbarer In- oder Exfiltration sowie zur Stabilisierung von Schadensbereichen am Altrohr und des anstehenden Bodens zur Anwendung kommen.<sup>174</sup>

Beim **Injektionsverfahren mit Gel (IVmG)** wird ein Gel auf Basis von Acrylharz und Polyurethan als Injektionsmaterial verwendet. Das IVmG wird in der Regel zur temporären Abdich-

<sup>172</sup> Vgl. Stein (1999), S. 370

<sup>173</sup> Vgl. [www.geoplaning.de/kanalkonkret/partielle\\_injektion.htm](http://www.geoplaning.de/kanalkonkret/partielle_injektion.htm), aufgerufen am 05.12.2010

<sup>174</sup> Vgl. BMVBS (2012), Internetportal, aufgerufen am 26.06.2012

tung bei sichtbarer In- oder Exfiltration als vorbereitende Maßnahme für nachfolgende Sanierungsmaßnahmen oder zu Abdichtungszwecken bei anstehendem Grundwasser verwendet, da den Gel-Materialien bei fehlender Umgebungsfeuchte die Volumenstabilität fehlt.<sup>175</sup>

Einsetzbar sind die Verfahren bei Kreisprofilen in allen Werkstoffen außer Mauerwerk. Als Voraussetzung für das Verfahren müssen die Kanalinnenwände so beschaffen sein, dass sich die Manschetten luftdicht anschmiegen können. Eine Hochdruckspülung ist deshalb vor Reparaturbeginn zwingend durchzuführen. Die genaue Menge des benötigten Injektionsmittels ist im Vorhinein nicht feststellbar, und so sind die entstehenden Kosten nicht genau ermittelbar. Eine Garantie für eine erfolgreiche Reparatur kann auf Grund der unvorhersehbaren Größe der Hohlräume nicht gegeben werden.

**Tabelle 3-07:** Randbedingungen, Vor- und Nachteile Injektionsverfahren<sup>176</sup>

Randbedingungen	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>IVmH: DIN 150 bis 700</li> <li>IVmG: ab DIN 100</li> <li>Kreisprofil</li> <li>Für alle Rohrwerkstoffe außer Mauerwerk</li> <li>Bei sichtbaren Undichtigkeiten</li> <li>Oftmals temporäre Abdichtung als vorbereitende Maßnahme für ein ausgewähltes Sanierungsverfahren (z.B. Kurzliner oder Schlauchlining); bei IVmH zusätzlich stabilisierende Wirkung für das Altrohr</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>In der Praxis jahrzehntelang erprobtes und bewährtes Sanierungsverfahren</li> <li>Vorfräsarbeiten zur Haftgrundvorbereitung i.d.R. nicht erforderlich</li> <li>Auch bei erheblichen Rohrschäden lassen sich Sanierungsmaßnahmen in offener Bauweise oft vermeiden</li> <li>Kostengünstig</li> <li>Sanierungserfolg durch Dichtheitsprüfung sofort kontrollierbar</li> <li>Bei Wurzeleinwuchs wachstumshemmendes Abdichtungsmittel einsetzbar</li> <li>Bei Trockenwetterabfluss i.d.R. keine Vorflutsicherung erforderlich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kein Einsatz bei Temperaturen <math>\leq 0\text{ °C}</math></li> <li>Materialverbrauch im Vorfeld schwer kalkulierbar (i.d.R. Vergütung auf Nachweis erforderlich)</li> <li>Nicht anwendbar, wenn kein druckdichter Abschluss des Packerprüfraums möglich</li> <li>IVmG: Gel nur in ständig feuchten Bereichen einsetzbar (Volumenschrumpfung bei Trockenheit)</li> <li>IVmG: Keine Behebung der Schadensursache, z.B. von Bettungsdefiziten</li> <li>IVmG: Problematisch z. B. bei starken Grundwasserströmungen und gleichzeitig großen Undichtigkeiten oder starken Verschmutzungen im Bereich der Undichtigkeiten</li> </ul>

### Injektion von außen<sup>177</sup>

Anstatt von innen ist eine Injektion ebenfalls von außen möglich. Das Injektionsgut wird von der Oberfläche aus mit Hilfe von Bohrungen, Einpresslanzen und Rammlanzen sowie mit Manschetten- bzw. Ventilrohren eingebracht. Der geschädigte Kanal muss während des Verpressvorgangs von innen mittels eines Packers (gegen die Rohrrinnenwand aufgeblasene Manschetten) gegen eindringendes Injektionsgut geschützt werden. Als Injektionsmittel kommen bei diesem Verfahren Zementmörtel, -pasten und Suspensionen sowie Injektionsmittel auf Basis mehrkomponentiger Kunstharze zum Einsatz.

<sup>175</sup> ebenda

<sup>176</sup> ebenda

<sup>177</sup> Vgl. Plenker (2003), S. 73

Auch bei diesem Verfahren ist die Menge des benötigten Materials auf Grund der Unkenntnis über die genaue Beschaffenheit der unterirdischen Hohlräume im Vorhinein nicht feststellbar. Der genaue Verbrauch sollte deshalb bei der Ausführung aufgezeichnet werden. Der Querschnitt des Rohres ist nach der Reparatur nicht reduziert, da die Innenwand den Abschluss des Injektionskörpers bildet.

### Flutungsverfahren<sup>178</sup>

Beim Flutungsverfahren muss zu Beginn die zu sanierende Leitung im Hochdruckspülverfahren gereinigt werden, um Verunreinigungen der Injektionslösung zu vermeiden. Anschließend wird der Kanal am Start- und am Zielschacht mit Absperrblasen vom System abgetrennt. Auf ein eventuelles Umpumpen des Abwassers ist zu achten. Vor der Flutung ist der Wasserverlust im Abschnitt durch Messungen zu bestimmen. So kann eine Aussage über die Durchführbarkeit des Verfahrens gemacht und die zu erwartende Verbrauchsmenge bestimmt werden.

Das eigentliche Verfahren beginnt mit dem Einfüllen der ersten von zwei Komponenten einer Injektionslösung. Diese wird eingelassen, bis sie sich im Schacht nach oben staut. An der Schadstelle abfließende Lösung wird nachgefüllt. Somit wird eine Verringerung der Stauhöhe durch Nachfüllen ausgeglichen. Durch den entstehenden hydraulischen Druck dringt die Lösung in die Hohlräume hinter der beschädigten Kanalwand ein. Nach einer vorgegeben Einwirkzeit wird die erste Komponente wieder abgepumpt und die zweite Komponente eingefüllt. Diese dringt ebenfalls in die Hohlräume und vermischt sich mit der ersten Komponente. So bildet sich ein fester Körper, der die Kanalwand abdichtet.



**Abbildung 3-22:** Flutungsverfahren, Einfüllen Komponente A<sup>179</sup>

<sup>178</sup> Vgl. MURL-NRW (1999), S. 60 ff.

<sup>179</sup> Vgl. [http://www.aks-abflussfrei.de/ks\\_flutung.html](http://www.aks-abflussfrei.de/ks_flutung.html), aufgerufen am 05.12.2010





**Abbildung 3-23:** Flutungsverfahren, Einfüllen Komponente B<sup>180</sup>



**Abbildung 3-24:** Flutungsverfahren, Reaktionsprodukt aus A und B<sup>181</sup>

Nach Durchführung des Verfahrens muss der gesamte sanierte Bereich einschließlich der Anschlusskanäle gereinigt werden, um eventuelle Rückstände zu beseitigen. Es ist darauf zu achten, dass die Stauhöhe während der Flutung nicht zu groß wird, da sonst die Injektionslösung über die Hausanschlüsse unkontrolliert vordringen kann. Alternativ sind die Hausanschlüsse im Voraus über Revisionsschächte abzusperren.

Da als Injektionsgut eine Lösung in die komplette Haltung gegeben wird, ist die genaue Geometrie der Haltung unerheblich für den Erfolg der Reparatur. Ebenso ist der Zeitaufwand pro Haltung sehr gering. Je nach Durchdringungsgrad des Bodens ist es möglich, dass der komplette Sanierungsabschnitt von einem monolithischen Körper umgeben wird. Sollte dies der Fall sein, kann die Leitung nicht mehr nachträglich an Setzungen angepasst werden. Eine durchgehende Kontrolle der Qualität des entstehenden Reaktionsprodukts ist nicht möglich. Deshalb kann nur schwer eine Aussage über die Lebensdauer der Reparatur gemacht werden.

---

<sup>180</sup> ebenda

<sup>181</sup> ebenda

**Tabelle 3-08:** Randbedingungen, Vor- und Nachteile des Flutungsverfahrens<sup>182</sup>

Randbedingungen	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• DIN 100 bis 600</li> <li>• Beliebige Querschnittsform</li> <li>• Beton, Steinzeug, Kunststoff, Stahl</li> <li>• Kanalabschnitt absperrbar</li> <li>• Revisionsschächte an Anschlusskanälen</li> <li>• Statisch selbsttragende Rohre</li> <li>• Laut Herstellerangaben nicht einsetzbar bei Radialrissen größer 5 mm und Längsrissen im Scheitel- und Sohlbereich größer 2 mm</li> <li>• Durchlässiges Bettungsmaterial</li> <li>• Nicht einsetzbar, wenn das Rohr von einem undurchlässigen Material umgeben ist (z.B. Betonummantelung)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Undichtigkeiten müssen nicht einzeln lokalisiert werden</li> <li>• Gleichzeitige Abdichtung von Kanal, Anschlussleitungen und Schächten</li> <li>• Abgewinkelte und unzugängliche Leitungen stellen kein Problem dar</li> <li>• Einragungen (z.B. Stützen) sind kein Hindernis</li> <li>• Kurze Sanierungsdauer</li> <li>• Stabilisierung der Rohrbettung</li> <li>• Hydraulischer Querschnitt bleibt vollständig erhalten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Garantie einer vollständigen Reaktion beider Einzelkomponenten im Bereich des anstehenden Bodens; Restmengen können ins Grundwasser gelangen</li> <li>• Vermischung der Einzelkomponenten nicht kontrollierbar und somit Qualität des Endproduktes nicht definierbar bzw. sicherzustellen</li> <li>• Materialverbrauch im Vorfeld schwer kalkulierbar (abhängig vom Schadensausmaß und der Anzahl erforderlicher Befüllungs- und Entleerungsvorgänge); i.d.R. Vergütung auf Nachweis erforderlich</li> <li>• Enge Einsatzgrenzen</li> <li>• Keine gesicherten Erkenntnisse über die Lebensdauer</li> <li>• Zuordnung der Sanierungskosten zum Kanal/Hausanschluss schwierig</li> <li>• Relativ teuer</li> </ul>

### Partielle Abdichtung (Kurzliner und Edelstahlmanschetten)

Eine Abdichtung von innen ist sowohl mit Gewebemanschetten (Kurzliner) als auch mit Innenrohrmanschetten (aus Edelstahl) möglich. „Innenmanschetten sind Kurzlinern in Wirkung und Bauweise sehr ähnlich und unterscheiden sich primär in den zur Verwendung kommenden Materialien und der Einbauweise.“<sup>183</sup>

„**Kurzliner** bestehen aus einem Trägermaterial (Synthesefaserfilz oder Glasfasergewebe), das vor Ort mit einem Mehrkomponenten-Harzsystem getränkt wird. Ein Kurzliner wird mittels eines Packers an der Schadensstelle positioniert und durch Expansion des Packers an die Rohrwand gepresst. Die Reaktion des Harzes findet i. d. R. unter Umgebungstemperaturen statt und verklebt den Kurzliner mit dem Altrohr. Die Einzellänge der Kurzliner ist systemabhängig und beträgt i. d. R. etwa 50 cm. Eine überlappende Verklebung mehrerer Einzelliner bei längeren Einzelschäden ist grundsätzlich möglich.“<sup>184</sup>

Im Bereich von Rohrverbindungen, Rissen und fehlenden Wandungsteilen werden **Edelstahlmanschetten mit Flächenelastomeren (EMmF)** zur punktuellen Sanierung von Kanälen eingesetzt. Mit Hilfe von **Edelstahlmanschetten mit Verklebung (EMmV)** werden Kanäle an der Schadensstelle zur punktuellen Sanierung überklebt. Der Einbau erfolgt dergestalt, dass eine Edelstahlmanschette mit außen liegender Flächenelastomer-Dichtung mit Hilfe eines Versetzpackers unter Ka-

<sup>182</sup> Vgl. MURL-NRW (1999), S.64 sowie BMVBS (2012), aufgerufen am 21.06.2012

<sup>183</sup> Vgl. BMVBS (2012), Internetportal, aufgerufen am 27.06.2012

<sup>184</sup> ebenda

merakontrolle an der Schadstelle positioniert und gegen die Rohrwand gepresst wird. Ein permanenter Innendruck gegen die Rohrwand wird mechanisch durch eine nicht selbständig öffnende Rasterverzahnung gewährleistet. Die Abdichtung erfolgt mittels Kompressionsdichtung und kann gegen eindringendes Grundwasser eingesetzt werden (auch unter Druck). Unter Edelstahlmanschetten mit Verklebung wird eine außen mit zwei bis drei Millimetern Epoxidharz beschichtete und ggf. längs geschlitzte Edelstahlmanschette verstanden. Diese wird ebenfalls über einen Versetzpacker an der Schadensstelle positioniert und durch Expansion des Packers an die Rohrwand gepresst und mit dieser im Regelfall unter Umgebungstemperatur verklebt (siehe auch Kurzliner).<sup>185</sup>

Je nach Ausführung des Inliners kann auch die Tragfähigkeit des geschädigten Rohres verbessert werden. Um einen guten Verbund der Gewebemanschetten zu gewährleisten, muss die betreffende Haltung während der Arbeiten abwasserfrei sein und eine ausreichende Haftung vorweisen.

Die Manschetten sind kreisförmig und können so nur in Kreisprofilen eingebaut werden. Einsetzbar sind sie auf allen Werkstoffen mit Ausnahme von PVC-U und PE-HD. Da die Inliner auf die Innenwandung aufgebracht werden, wird der Querschnitt an der Sanierungsstelle geringfügig verengt.



**Abbildung 3-25:** Aufbringen einer harzgetränkten Gewebematte auf Versetzpacker<sup>186</sup>



**Abbildung 3-26:** Edelstahlmanschette<sup>187</sup>

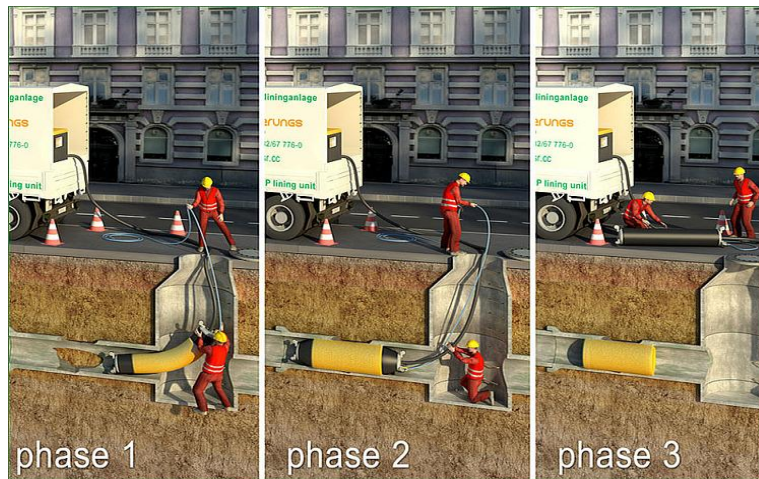
---

<sup>185</sup> ebenda

<sup>186</sup> Vgl. <http://www.rssr.cc/home/kurzliner/>, aufgerufen am 04.12.2010

<sup>187</sup> Vgl. [http://www.uhrig-bau.eu/de/quick\\_lock/das\\_system/werkstoffe/](http://www.uhrig-bau.eu/de/quick_lock/das_system/werkstoffe/), aufgerufen am 05.12.2010





**Abbildung 3-27:** Partielle Abdichtung, Prinzip Einbauvorgang<sup>188</sup>

**Tabelle 3-09:** Randbedingungen, Vor- und Nachteile Partielle Abdichtung<sup>189</sup>

Randbedingungen	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• DIN 150 bis 700</li> <li>• Kreisprofile (bei Kurzliner auch entsprechende Eiprofile)</li> <li>• Für sämtliche Rohrmaterialien (außer Kunststoff: PVC-U, PP, GFK nur bedingt, nicht PE-HD bei Kurzliner und EMmV)</li> <li>• Punktuelle Sanierung im Bereich von Rohrverbindungen, Rissen und fehlenden Wandungsteilen</li> <li>• Nicht geeignet bei starken Lageabweichungen und Versätzen (Kurzliner bedingt einsetzbar)</li> <li>• Kurzliner und EMmV: Bedingt einsetzbar auch bei drucklos eindringendem Grundwasser</li> <li>• EMmF: direkter Einsatz gegen drückendes Grundwasser möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flexibler Einsatz für viele Schadensbilder möglich</li> <li>• EMmF: Kein Einsatz von Kunstharz, daher auch in Trinkwassergewinnungsgebieten einsetzbar</li> <li>• EMmF: Manschette kann nachjustiert und relativ einfach ersetzt werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Behebung der Schadensursache, z.B. von Bettungsdefiziten</li> <li>• lokale Querschnittsreduzierung von ca. 12 bis 20 mm (Kurzliner), ca. 6 bis 10 mm (EMmV und EMmF)</li> <li>• Eine nicht ausreichende mechanische Klebeflächenvorbereitung und Verklebung kann zum Ablösen der Kurzliner und der Manschetten und somit zu schweren betrieblichen Störungen führen</li> <li>• EMmV und EMmF: Starres Gebilde, das z.B. bei wechselnden Geometrieverhältnissen, Versätzen an den Rohrverbindungen oder Bruchstellen entlang der Manschettenachse ggf. kein vollständiges Anliegen zulässt</li> </ul>

## Reparatur Zulaufanbindung

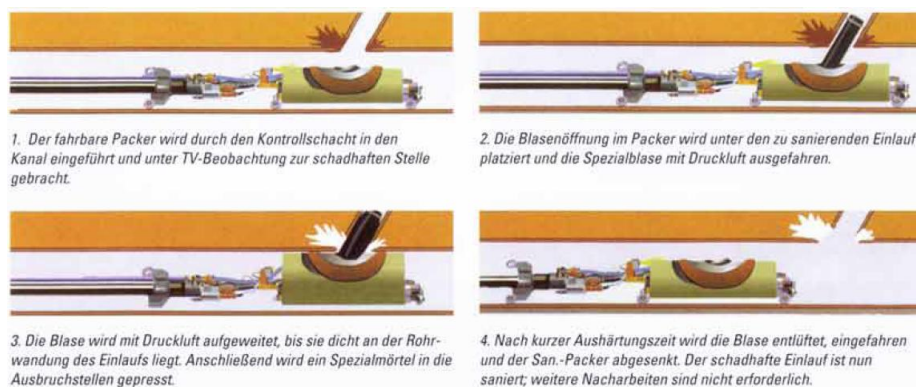
Neben der **Reparatur mit dem Roboterverfahren** kann besonders bei Inlinern die Reparatur einmündender Anschlusskanäle mittels Einbau eines speziellen **Hutprofils** zur Ausführung kommen. „Hutprofile bestehen aus einem auf die Zulaufsituation und -geometrie vorkonfektionierten Trägermaterial mit einem mindestens 5 cm breiten Kragen, der die Rohrmündung im Hauptkanal umschließt, und einem in den Zulauf einragenden, mindestens 10 cm langen Schlauchlinierstück. Das Trägermaterial des Hutprofils sollte vorzugsweise dem des Schlauchliniers entsprechen (i.d.R.

<sup>188</sup> Vgl. <http://www.rssr.cc/home/kurzliner/>, aufgerufen am 04.12.2010

<sup>189</sup> Vgl. BMVBS (2012), Internetportal, aufgerufen am 27.06.2012

Synthesefaserfilz oder Glasfasergewebe) [...] [und] wird vor Ort mit einem Mehrkomponenten-Harzsystem getränkt (Laminat).“<sup>190</sup> Eingebaut wird das Hutprofil mit Hilfe eines speziellen Packers, der das Hutprofil in den Anschlusskanal stülpt und an die Innenwandung presst.

Ein weiteres Verfahren ist die Reparatur der **Zulaufanbindung mittels Injektion**. Hierzu stülpt ein spezieller Packer eine Spezialblase in den Anschlusskanal. So ist die Anschlussstelle nach allen drei Seiten hin luftdicht abgeschlossen. Anschließend wird wie bei der partiellen Injektion ein Injektionsgut in den Zwischenraum gepresst und so ein Verbund der beiden Kanäle hergestellt. Da die einbringenden Packersysteme meist den Durchlauf von Abwasser erlauben, ist eine Wasserhaltung in der Regel nicht erforderlich. Die Spezialblase des Injektionsverfahrens passt sich genau an den Querschnitt der Rohre an, so dass neben Kreisprofilen ein bedingter Einsatz in Eiprofilen möglich ist.



**Abbildung 3-28:** Stutzenreparatur, Verfahrensprinzip<sup>191</sup>



**Abbildung 3-29:** Stutzenreparatur, Spezialpacker mit ein- und ausgefahrner Blase<sup>192</sup>

Die komplette Reparatur wird händisch mittels Roboter und visueller Kontrolle durch die Roboterkamera durchgeführt. Somit hängt die Qualität der Maßnahme wesentlich von den Fähigkeiten des Gerätebedieners ab.

<sup>190</sup> ebenda

<sup>191</sup> Vgl. MUV-BW (2000), S. 25

<sup>192</sup> Vgl. <http://www.geoplaning.de/kanalkonkret//verpressverfahren.htm>, aufgerufen am 05.12.2010

**Tabelle 3-10:** Randbedingungen, Vor- und Nachteile Zulaufanbindung mit Roboterverfahren<sup>193</sup>

Randbedingungen	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Geräte sind selbstfahrend. Einsatz i.d.R. bei einseitiger Zugänglichkeit möglich</li> <li>Für alle nicht schweißfähigen Rohrwerkstoffe</li> <li>Bei einer Sanierungslänge von 8 bis 15 cm in den Zulauf hinein</li> <li>i.d.R. keine Vorflutsicherung im Hauptkanal erforderlich</li> <li>Vorflutsicherung im Zulauf erforderlich</li> <li>i.d.R. von DN 200 bis DN 600 im Hauptrohr (Kreisprofil) und DN 100 bis DN 250 in Anschlussleitungen; Eiprofile nur bedingt (systemabhängig, ggf. im oberen Rohrbereich der Profile möglich)</li> <li>bei unter Druck eindringendem Grundwasser ist eine Vorabdichtung von Schadstellen erforderlich</li> <li>Beachtung einer sorgsam Materialvermischung, um ein vollständiges Aushärten des Materials sicherstellen zu können</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nur geringer Materialauftrag (ohne nennenswerte Querschnittsreduzierung)</li> <li>Die eingesetzten Sanierungsmaterialien weisen gegenüber dem Rohrwerkstoff i.d.R. die besseren Materialeigenschaften auf.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Keine Behebung der Schadensursache, z.B. von Bettungsdefiziten</li> <li>Scherbenbildungen und komplexe Rissstrukturen in unbewehrten Rohrmaterialien (z.B. STZ und B) müssen im Hauptkanal zusätzlich saniert werden</li> <li>Erforderliche Fräsarbeiten verursachen ggf. eine Destabilisierung der Schadensbereiche (insbesondere bei zurückliegenden Stützen)</li> </ul>

**Tabelle 3-11:** Randbedingungen, Vor- und Nachteile Zulaufanbindung mit Injektionsverfahren<sup>194</sup>

Randbedingungen	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>Bei zurückliegenden, ausgebrochenen oder vorstehenden Zuläufen</li> <li>Für alle Rohrwerkstoffe je nach verwendetem Injektionsmaterial, bis auf gemauerte Kanäle</li> <li>Lokale Beseitigung der Schadensursache, z.B. von Bettungsdefiziten</li> <li>Bei einer Sanierungslänge von 10 bis 30 cm in den Zulauf hinein</li> <li>i.d.R. keine Vorflutsicherung erforderlich</li> <li>i.d.R. von DN 200 bis DN 600 im Hauptrohr (Kreisprofil) und DN 100 bis DN 200 in Anschlussleitungen</li> <li>bei unter Druck eindringendem Grundwasser</li> <li>Zugängliche Kontrollschächte oberhalb und unterhalb der Schadstelle erforderlich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sanierungsmaßnahmen in offener Bauweise können auch bei erheblichen Schäden häufig vermieden werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kein Einsatz bei Temperaturen <math>\leq 0\text{ °C}</math> (Materialauskühlung in den Schlauchzuführungen)</li> <li>Systembedingter Materialkragen umschließt i.d.R. die Zulaufmündung</li> <li>Materialverbrauch im Vorfeld schwer kalkulierbar (i.d.R. Vergütung auf Nachweis erforderlich)</li> </ul>

<sup>193</sup> Vgl. BMVBS (2012), Internetportal, aufgerufen am 27.06.2012

<sup>194</sup> ebenda

**Tabelle 3-12:** Randbedingungen, Vor- und Nachteile Zulaufanbindung mit Hutprofilen<sup>195</sup>

Randbedingungen	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zulaufanbindung in Verbindung mit Renovierungsmaßnahmen (bei Linerwerkstoffen)</li> <li>• Bei einer Sanierungslänge von 10 bis 150 cm in den Zulauf hinein (system- und geometrieabhängig, im Einzelfall auch größere Einbindetiefe möglich)</li> <li>• i.d.R. keine Vorflutsicherung im Hauptkanal erforderlich</li> <li>• Vorflutsicherung im Zulauf erforderlich</li> <li>• DN 200 bis DN 700 im Hauptrohr (Kreisprofil) und DN 100 bis DN 200 in Anschlussleitungen (systemabhängig); Eiprofile nur bedingt (systemabhängig, ggf. im oberen Rohrbereich der Profile möglich)</li> <li>• bei unter Druck eindringendem Grundwasser ist eine Vorabdichtung von Schadstellen erforderlich</li> <li>• Folienoberflächen von Linern müssen im dichten und betriebssicheren Verbund (Klebeflächenvorbereitung) entfernt werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flexibler Einsatz möglich (z.B. Anschlusswinkel)</li> <li>• Sichere Verbindungsmöglichkeit durch flächige Verklebung der Liner</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lokale Querschnittsreduzierung von ca. 6 bis 8 mm</li> <li>• Keine Behebung der Schadensursache, z.B. von Bettungsdefiziten</li> <li>• Hohe Fehleranfälligkeit bei Durchführung der Laminat-Imprägnierung vor Ort (Tränkung des Trägermaterials) gegeben</li> </ul>

### Punktuelle Aufgrabung, Abdichtung von außen (Partielle Erneuerung)

"Unter Abdichtungsverfahren von außen wird das Abdichten mittels eines Schrumpfschlauches oder mit Hilfe von Außenmanschetten verstanden. Beide Verfahren erfordern das Herstellen einer Baugrube. Schrumpfschläuche sind aus dem Gas- und Wassersektor übernommen worden. Sie bestehen aus strahlenvernetztem Polyethylen und einer Innenbeschichtung aus thermoplastischem Dichtungskleber. Der Schlauch wird zu Reparaturzwecken um die vorgewärmte Rohrverbindung gelegt und dann verschlossen. Beim Erwärmen der Muffe mittels einer Propangasflamme treten Schrumpfkkräfte auf, die den dauerelastischen Dichtungskleber in Undichtigkeiten und Hohlräume pressen. Dadurch wird eine dauerhafte und wasserdichte Verbindung hergestellt. Abwinkelungen und Längsbewegungen stellen kein Problem dar. Eine weitere Möglichkeit für das Abdichten von außen ist die Verwendung von Stahlmanschetten."<sup>196</sup>

Ebenso können mit punktuellen Aufgrabungen kleinere Schäden wie Einstürze oder sehr starke Deformationen behoben werden.<sup>197</sup> So können kurze Rohrstücke komplett ausgetauscht oder beschädigte Anschlüsse wiederhergestellt werden. Die Tiefenlage, Nennweite und das Material des betreffenden Kanals spielt bei beiden Methoden eine entscheidende Rolle in Bezug auf die Kosten. Da die Reparatur in offener Bauweise ausgeführt wird, muss das Herstellen einer Baugrube über der Schadstelle möglich sein. Es können alle Querschnitte und alle Materialien repariert werden.

<sup>195</sup> ebenda

<sup>196</sup> Vgl. Plenker (2003), S. 75

<sup>197</sup> Vgl. Zech (2009), S. 563

**Tabelle 3-13:** Randbedingungen, Vor- und Nachteile Punktuelle Aufgrabung<sup>198</sup>

Randbedingungen	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei Einstürzen und großen Undichtigkeiten als Sofortmaßnahme und schadhaften Abzweigen und Stützen, wenn Innensanierungstechniken technisch oder wirtschaftlich nicht geeignet</li> <li>• Bei allen Rohrwerkstoffen</li> <li>• DN 100 bis DN 800</li> <li>• Außerbetriebnahme des Kanals erforderlich</li> <li>• Offene Baugrube, insbesondere bei großen Tiefen</li> <li>• Ggf. Grundwasserabsenkung erforderlich</li> <li>• Neben- und Folgearbeiten wie z.B. Straßensperrung, Wiederherstellen der Fahrbahnoberfläche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sichere Form der Schadensbehebung</li> <li>• Verwendung von werksmäßig hergestellten Rohren und Bauteilen mit definierten Materialeigenschaften</li> <li>• Von allen Tiefbaufirmen ausführbar</li> <li>• Qualität leicht beurteilbar</li> <li>• Keine Querschnittsreduzierung</li> <li>• bei guter Ausführung lange Lebensdauer</li> <li>• Baugrube kann gleichzeitig zur Sanierung des Hausanschlusses genutzt werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baugrube erforderlich</li> <li>• Kostenintensiv; Kosten von der Tiefenlage abhängig</li> <li>• Ggf. unterschiedliches Setzungsverhalten von Altrohr und erneuertem Rohrabschnitt kann zu Versätzen führen</li> <li>• Verbau- und Verdichtungsarbeiten sind mit Erschütterungen verbunden</li> </ul>

### 3.3.3 Renovierungsverfahren

#### Grundsätzliches

Nach DIN EN 752:2008 werden Renovierungen als „Maßnahmen zur Verbesserung der aktuellen Funktionsfähigkeit von Abwasserleitungen und -kanälen unter vollständiger oder teilweiser Einbeziehung ihrer ursprünglichen Substanz“ verstanden. Die Renovierungsverfahren sind demnach sowohl Instandsetzungsverfahren als auch Modernisierungsmaßnahmen zur vollständigen Innenauskleidung der zu sanierenden Kanäle, da sie das Widerstandsvermögen von Kanälen gegen physikalische, chemische, biologische und/oder biochemische Angriffe wieder herstellen oder erhöhen.<sup>199</sup>

Renovierungsmaßnahmen können durch ihre tragende Funktion auch für eine Verbesserung der Standsicherheit sorgen. Zur Anwendung können die Maßnahmen der Renovierung kommen, wenn in Abhängigkeit der Bausubstanz die Anforderungen an die Bautechnik und Statik gegeben sind. Je nach Schadensbild müssen zur temporären Abdichtung durch Infiltration von Grundwasser oder zur Stabilisierung der Rohre vorab Maßnahmen zur Vorsanierung durchgeführt werden. Bei stark beschädigten Kanälen sollten Erneuerungsmaßnahmen durchgeführt werden, da der Einsatz von Renovierungsmaßnahmen mit größer werdendem Schadensausmaß zunehmend unwirtschaftlich wird.<sup>200</sup>

Im Rahmen der Renovierungsverfahren werden im Bereich der nicht-begehbaren Kanäle **Auskleidungsverfahren** (z.B. Rohrrelining, Montageverfahren, Wickelrohrverfahren) und **Beschichtungsverfahren** (z.B. Auspressverfahren oder Anschleuderverfahren) unterschieden.

<sup>198</sup> Vgl. MURL-NRW (1999), S. 69 sowie BMVBS (2012), Internetportal, aufgerufen am 27.06.2012

<sup>199</sup> Vgl. BMVBS (2012), Internetportal, Anhänge 6.2.2 Renovierungsverfahren, aufgerufen am 11.07.2012

<sup>200</sup> ebenda



## Rohrrelining mit Ringraum

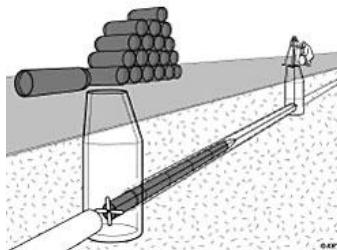
Unter Rohrrelining sind sowohl Rohrstrangverfahren als auch Lang- und Kurzrohrrelining (Einzelrohr-Lining) zu fassen. Sie stehen für das Auskleiden des Kanals mit vorgefertigten Rohren.

Beim **Rohrstrangverfahren** wird ein kompletter Rohrstrang in den Kanal eingezogen. Der Strang besteht vorwiegend aus PE-HD oder PVC und wird entweder komplett fertig angeliefert oder vor Ort aus Einzelteilen zusammengeschweißt. Zum Einziehen dieses Stranges bedarf es einer relativ langen Einziehbaugrube. „Die Kosten sind mit ca. 25 - 75 % der Neubaukosten, in Abhängigkeit von Tiefenlage und Nennweite, anzusetzen. Bei steigender Anzahl von Anschlusskanälen sowie mit kürzer werdender Haltung wird das Verfahren unwirtschaftlich.“<sup>201</sup>

**Lang- und Kurzrohrrelining** (Einzelrohr-Lining) unterscheiden sich nur in Bezug auf die Abmessungen der Startbaugrube. Beim Kurzrohrrelining reicht meist ein Schacht als Startgrube aus. Es werden taktweise Einzelrohre miteinander verbunden und anschließend in den zu sanierenden Kanal geschoben oder gezogen. So können beliebige Querschnittsformen und Materialien eingesetzt werden. Gegenüber dem Rohrstrangverfahren ist diese Einbauweise zeit- und kostenintensiver und hat zum Teil eine hohe Anzahl an Rohrverbindungen. Einen Vorteil gegenüber dem Rohrstrangverfahren hat diese Vorgehensweise vor allem bei kurzen Haltungslängen und tieferliegenden Kanälen. „Die Kosten betragen ca. 40 - 80 % der Neuverlegung.“<sup>202</sup>

Bei allen drei genannten Verfahren entsteht zwischen Kanalwandung und Inliner ein Zwischenraum, der im Nachgang verpresst werden muss. Ebenfalls müssen die Anschlusskanäle im Nachhinein von innen wieder freigefräst werden. Da diese nach Einbau von innen nicht mehr zu erkennen sind, ist eine genaue Einmessung im Vorfeld unerlässlich. Die Gefahr einen Anschluss nicht präzise zu treffen, ist bei diesen Verfahren höher als zum Beispiel bei Schlauchinlinern.

Eine Besonderheit ergibt sich beim Einbau von Einzelrohren, bei dem sich durch Verwendung einer speziellen Zugvorrichtung der Rohrliner auch ohne nennenswerten Ringraum („tide in pipe“) eingezogen werden kann.



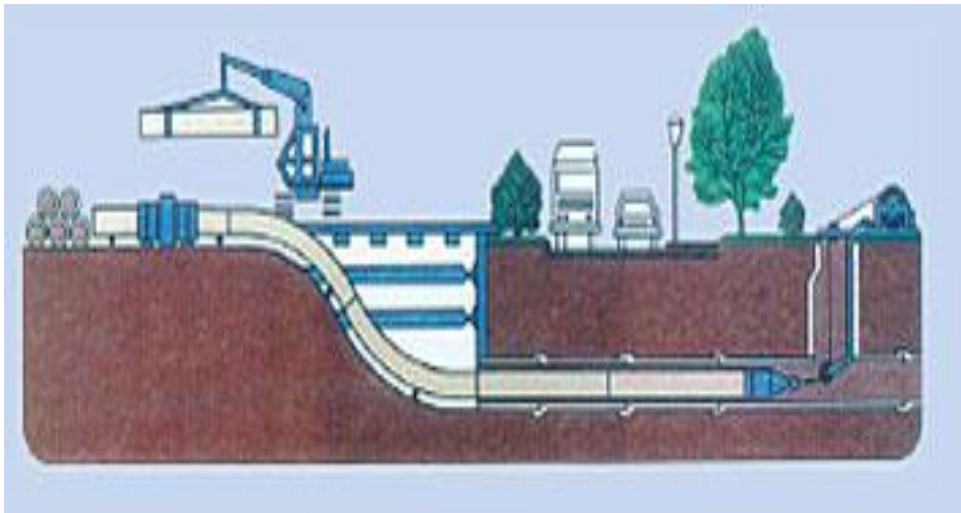
**Abbildung 3-30:** Rohrrelining, Kurzrohrrelining<sup>203</sup>

---

<sup>201</sup> Vgl. MUV-BW (2000), S. 20

<sup>202</sup> Vgl. a. a. O., S. 21

<sup>203</sup> Vgl. <http://www.trolining.de/index.php?option=static&siteID=14&linkID=27&linkHistory=2,27&level=2&top=2>, aufgerufen am 05.12.2010



**Abbildung 3-31:** Rohrrelining, Langrohrrelining<sup>204</sup>

Während des Einbaus sollte die Haltung abflussfrei sein um negative Beeinflussungen infolge Verschmutzungen im Ringraum zu vermeiden. Um ein reibungsloses Einziehen zu ermöglichen, muss der Kanal frei von Ablagerungen oder sonstigen Hindernissen sein. Die verwendeten Rohre sind statisch tragfähig und können so auch zur Ertüchtigung statisch beeinträchtigter Rohre eingesetzt werden. Da die Rohre innen eingezogen werden, wird der Rohrquerschnitt verkleinert. Hat die Haltung größere Bögen, ist das Verfahren nicht anwendbar.

**Tabelle 3-14:** Randbedingungen, Vor- und Nachteile Rohrstrang-Lining<sup>205</sup>

Randbedingungen	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei Vollwandrohren Kreisprofile <math>\geq</math> DN 300 und Längen bis 700 m; bei außen gerippten Rohren Kreisprofile von DN 150 bis DN 300 und Längen bis 100 m</li> <li>• Alle Rohrmaterialien und Querschnittsformen des Altrohres möglich</li> <li>• Für Freispiegel- und Druckleitungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kurze Bauzeit</li> <li>• Steckverbindungen</li> <li>• Liner ist hydraulisch sehr glatt und widerstandsfähig gegen aggressives Abwasser und mechanische Beanspruchung</li> <li>• Schächte können durchfahren werden</li> <li>• Sehr gute Materialeigenschaften von PE-HD und PP (chemikalienbeständig, Zeitstandverhalten, Langzeitbeständigkeit gegen chemischen und biologischen Angriff, unlöslich in organischen Lösungsmitteln)</li> <li>• Verwendung werkmäßig hergestellter Rohre mit definierten Materialeigenschaften</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhebliche Querschnittsreduzierung</li> <li>• Erhöhter Aufwand durch Erdarbeiten für Einziehbaugrube</li> <li>• Hoher Platzbedarf für das Auslegen des Rohrstrangs</li> <li>• Nicht geeignet für Schäden wie Lageabweichungen und Rohrbruch</li> <li>• Aufwändige Wiederanbindung von Anschlussleitungen in offener und geschlossener Bauweise</li> </ul>

<sup>204</sup> ebenda

<sup>205</sup> Vgl. BMVBS (2012), Internetportal, Anhänge 6.2.2 Renovierungsverfahren, aufgerufen am 11.07.2012

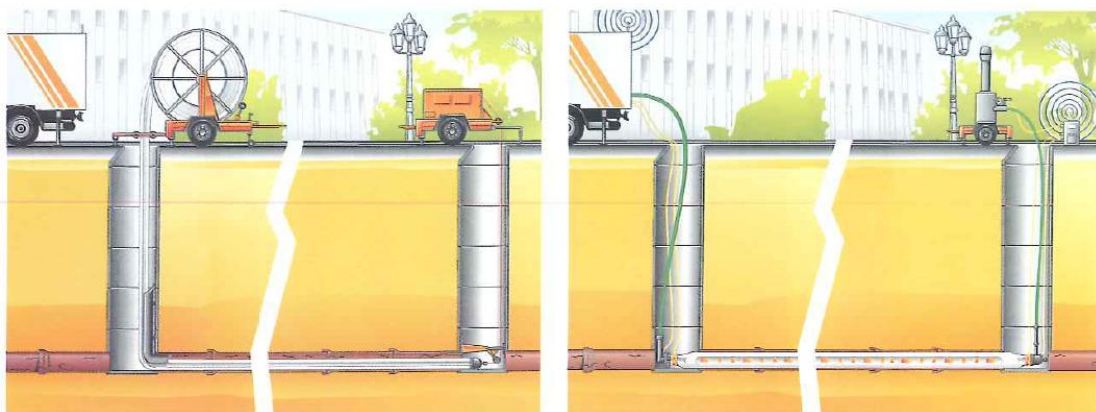
**Tabelle 3-15:** Randbedingungen, Vor- und Nachteile Einzelrohrlining<sup>206</sup>

Randbedingungen	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• i.d.R. Kreisprofile DN 300 bis DN 800, beim Tide in Pipe-Verfahren: DN 150 bis DN 600</li> <li>• Anwendung bei gravierenden Standsicherheitsproblemen</li> <li>• Einzugsverfahren: alle längskraftschlüssig verbindbaren Rohrwerkstoffe; Einschubverfahren: reine Steckverbindungen ausreichend</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schächte können durchfahren werden</li> <li>• Sehr gute Materialeigenschaften von PE-HD und PP (chemikalienbeständig, Zeitstandverhalten, Langzeitbeständigkeit gegen chemischen und biologischen Angriff, unlöslich in organischen Lösungsmitteln)</li> <li>• Verwendung werksmäßig hergestellter Rohre mit definierten Materialeigenschaften</li> <li>• Standsicherheit kann auch bei erheblichen Problemen wieder hergestellt werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anzahl an Rohrverbindungen ist insbesondere bei Verwendung von Kurzrohren sehr groß</li> <li>• Zulaufanbindungen gestalten sich in offener und geschlossener Bauweise sehr aufwändig</li> <li>• Erhebliche Querschnittsreduzierung (mit Ringraum)</li> </ul>

### Rohrrelining ohne Ringraum – Close-Fit-Lining

Bei den vorgenannten Verfahren ist meist eine Startbaugrube erforderlich und es entsteht ein Ringraum, der nachträglich zu verpressen ist. Neben den für das Verpressen anfallenden Kosten ist nachteilig, dass der Ringraum den Querschnitt des sanierten Rohrs verengt. Deshalb wurden ringraumfreie Close-Fit-Verfahren entwickelt, bei denen ein fugenloser Inliner entsteht.

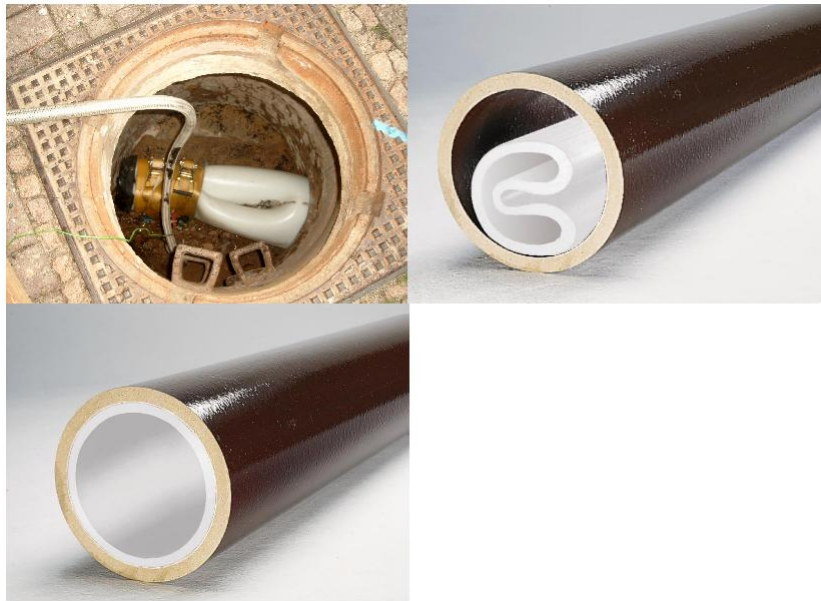
Bei den werkseitig hergestellten und verformten Rohren wird der Querschnitt eines PE-HD- oder modifiziertem PVC-U-Rohrstrang vor dem Einzug auf ca. 40 % des Ursprungs- bzw. Enddurchmessers reduziert und in den Kanal eingezogen. Im Altrohr weitet sich der Strang nach dem Einziehen unter Druck und Dampfzufuhr gegen die Kanalwandung auf, so dass der Liner eng an der Altrohrwand anliegt.<sup>207</sup>


**Abbildung 3-32:** Close-Fit, Verfahrensprinzip<sup>208</sup>
<sup>206</sup> ebenda

<sup>207</sup> Vgl. BMVBS (2012), Internetportal, Anhänge 6.2.2 Renovierungsverfahren, aufgerufen am 09.08.2012

<sup>208</sup> Vgl. MURL-NRW, 1999, S. 82





**Abbildung 3-33:** Close-Fit, Einbau<sup>209</sup>

Close-Fit-Verfahren benötigen einen Kanal, der frei von Hindernissen und Einstürzen ist. Während des Einziehens ist eine Wasserhaltung erforderlich. Eindringendes Grundwasser kann die Rückbildung negativ beeinflussen und sollte vor Einbau abgedichtet werden. Verfahrensbedingt ist nur die Sanierung von Kreisprofilen möglich, die keine zu großen Bögen aufweisen. Besonders bei PH-HD-Rohren ist eine nachträgliche Bewegung infolge hoher Temperaturschwankungen zu beachten.

**Tabelle 3-16:** Randbedingungen, Vor- und Nachteile Close-Fit-Verfahren<sup>210</sup>

Randbedingungen	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei allen Rohrwerkstoffen</li> <li>• Geeignet für Freispiegel- und Druckleitungen</li> <li>• DN 100 bis DN 450 (bis DN 450 i.d.R. keine Einziehgrube erforderlich)</li> <li>• Kreisprofil</li> <li>• In Rohren ohne signifikante Lageabweichung anwendbar</li> <li>• Stellen mit deutlicher Grundwasserinfiltration sind vorab abdichten</li> <li>• Altrohrkalibrierung erforderlich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geringe Querschnittsreduzierung</li> <li>• kurze Bauzeit</li> <li>• Kein verbleibender Ringraum</li> <li>• Keine Steckverbindungen (fugenloser Inliner)</li> <li>• Hydraulisch sehr glatt und widerstandsfähig gegen aggressives Abwasser und mechanische Beanspruchung</li> <li>• Werkseitig gefertigte Rohre mit definierten Materialeigenschaften</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gefahr einer nicht vollständigen Rückverformung beim Einbringen in das Altrohr (Faltenwurf), insbesondere bei Versätzen, Lageabweichungen und Nennweitentoleranzen im Altrohr</li> <li>• Nicht geeignet für Schäden wie Lageabweichungen und Rohrbruch</li> </ul>

<sup>209</sup> Vgl. <http://www.trolining.de/index.php?option=static&siteID=68&linkID=84&linkHistory=2,84&level=2&top=2>, aufgerufen am 05.12.2010

<sup>210</sup> Vgl. BMVBS (2012), Internetportal, Anhänge 6.2.2 Renovierungsverfahren, aufgerufen am 09.08.2012

## Schlauchrelining

Unter Schlauchlining versteht man das Einbringen eines reaktionsharzgetränkten Filz- oder Gewebeschlauchs durch Einziehen (Einzugsverfahren) oder Einstülpen (Inversionsverfahren) in die zu sanierende Haltung. Im Kanal werden die Liner durch Druck und Wasserdampf aufgestellt und gegen die Rohrwand gepresst. Anschließend wird der Liner mit Hilfe von Warmwasser, Dampf oder UV-Licht ausgehärtet. Die Tränkung des Schlauches geschieht je nach Verfahren im Werk oder direkt vor Ort. Es kommen hauptsächlich ungesättigte Polyester- und Epoxidharze zum Einsatz, je nach gegebenen Rahmenbedingungen im Kanal und beim Einbau. Um sowohl Harz als auch Schlauch zu schützen, ist innen und außen eine Schutzfolie aufzubringen, die nach dem Erhärten abgezogen werden kann.<sup>211</sup>

„Insbesondere bei den Inversionsverfahren werden die Außenfolien erst vor Ort, vor Einbau des Liners, in das Altrohr eingebaut (Preliner). Liner mit Synthefaserfilzen werden im Vergleich zu Linern mit Glasfasergelegen i. d. R. mit größeren Waddicken ausgeführt, um die statischen Anforderungen erfüllen zu können. Nach Fertigstellung (Aushärtung) des Liners werden die seitlichen Zuläufe vom Hauptkanal aus geöffnet und wasserdicht an den Liner angebunden.“<sup>212</sup>

Zur Aushärtung mittels Wärme wird ein Preliner in den eingebrachten Schlauch gestülpt und mit Wasser gefüllt. Dieses drückt den Schlauch nach außen an die Kanalinnenwand. Anschließend wird das Wasser erwärmt und das Harz so zur Reaktion gebracht. Nach einer vorgegebenen Aushärtungszeit wird es wieder langsam abkühlen gelassen um Spannungsbildung zu vermeiden.<sup>213</sup>

Bei der UV-Aushärtung wird der Schlauch mittels Druck an die Kanalinnenwände gepresst. Unter Aufrechterhaltung des Drucks wird die UV-Beleuchtungseinheit bis zum Ende gezogen, anschließend eingeschaltet und mit einer vordefinierten konstanten Geschwindigkeit wieder zurückgezogen. Durch die UV-Bestrahlung härtet das Harz aus. Es ist zu beachten, dass der Inliner vor Einbau nicht mit UV-Licht in Berührung kommen darf, da ansonsten die Erhärtungsreaktion schon vor Einbau ablaufen würde.<sup>214</sup>

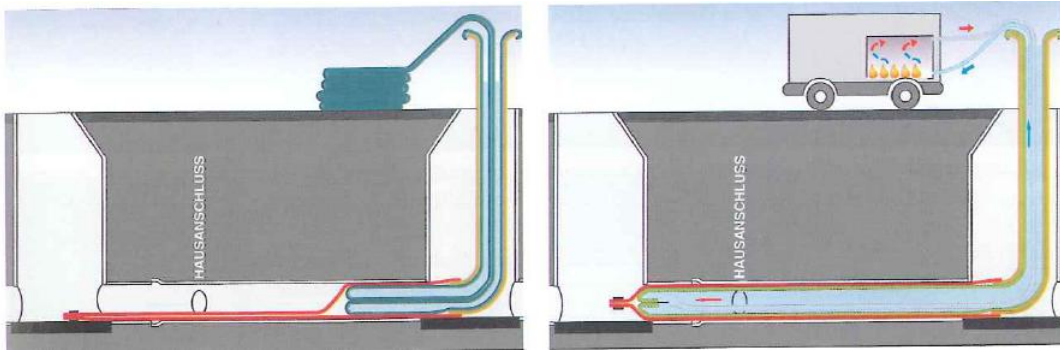
---

<sup>211</sup> Vgl. BMVBS (2012), Internetportal, Anhänge 6.2.2 Renovierungsverfahren, aufgerufen am 10.08.2012

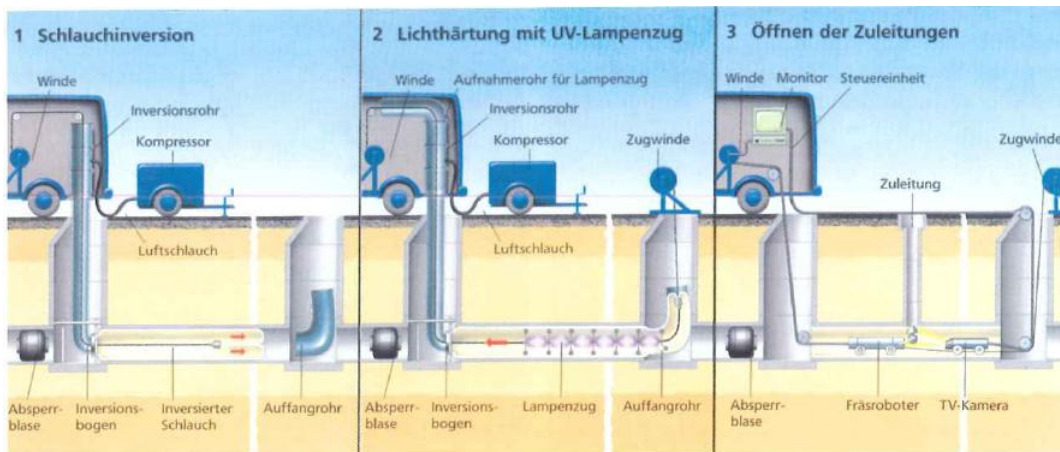
<sup>212</sup> ebenda

<sup>213</sup> Vgl. MURL NRW (1999), S. 70 ff.

<sup>214</sup> Vgl. a. a. O., S. 75



**Abbildung 3-34:** Schlauchrelining, Prinzip Wärme-Aushärtung<sup>215</sup>



**Abbildung 3-35:** Schlauchrelining, Prinzip UV-Aushärtung<sup>216</sup>



**Abbildung 3-36:** Schlauchrelining, Einbau über Schacht<sup>217</sup>

<sup>215</sup> Vgl. MURL NRW (1999), S. 71

<sup>216</sup> Vgl. a. a. O., S. 73

<sup>217</sup> Vgl. <http://www.rssr.cc/home/schlauchlining/>, aufgerufen am 05.12.2010

Um Schlauchlining durchführen zu können, muss der Kanal vorher gereinigt werden und frei von Abflusshindernissen, Wurzeleinwüchsen und einragenden Anschlüssen sein. Eine Abwasserhaltung ist ebenfalls notwendig, um die Erhärtungsreaktion des Harzes nicht zu beeinträchtigen. Sollte Grundwasser in den Kanal eindringen, ist vor Einbringen des Schlauchliners ein Preliner einzuziehen, der das Wasser vom Harz fernhält.

Ein gutes Sanierungsergebnis ist nur bei sauberer technischer Ausführung zu erzielen. Andernfalls kann es zum Beispiel zu Falten oder nicht ganz anliegendem Inliner kommen. Dies ist vor allem an engeren Bögen und Versätzen der Fall. Nach Abschluss der Sanierung sind Anschlusskanäle von innen wieder aufzufräsen und anzuschließen. Sie zeichnen sich an den dünnen Wänden des Liners gut ab und sind daher gut zu finden. Schlauchlinier könne nach Ausführung eine statisch verbessernde Wirkung haben und verengen den Querschnitt nur minimal. Da die Inliner nicht vor Ort hergestellt werden, ist nicht nur die Sanierung von Kreisprofilen, sondern auch von Ei- oder Sonderprofilen möglich. Hier sollte allerdings bei der UV-Erhärtung auf eine gleichmäßige Bestrahlung des ganzen Querschnitts geachtet werden, um Unregelmäßigkeiten in der Erhärtung zu vermeiden. „Die Kosteneinsparung gegenüber einer Erneuerung beträgt ca. 60 - 80 %.“<sup>218</sup>

**Tabelle 3-17:** Randbedingungen, Vor- und Nachteile Schlauchlining<sup>219</sup>

Randbedingungen	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Freispiegelkanäle und Druckleitungen (systemabhängig)</li> <li>• DN 150 bis &lt; DN 800 (systemabhängig)</li> <li>• Einsetzbar für alle Profilarten (systemabhängig) und Rohrwerkstoffe</li> <li>• Wiederherstellung der statischen Tragfähigkeit i.d.R. möglich</li> <li>• UV-Lichthärtung bis 300 m Rohrlänge</li> <li>• Warmwasserhärtung bis 600 m Rohrlänge</li> <li>• Dampfhärtung bis 120 m Rohrlänge</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimale Querschnittsverluste</li> <li>• Keine Rohrverbindungen</li> <li>• Fugenloser Inliner</li> <li>• Keine Baugruben erforderlich</li> <li>• Sehr flexibel einsetzbar</li> <li>• Bei entsprechender Dimensionierung statisch tragfähig</li> <li>• Auffinden der Anschlussleitung durch Abdrücke im Schlauch unproblematisch</li> <li>• Im Vergleich zu anderen Renovierungsverfahren kostengünstiger</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wasserhaltung erforderlich</li> <li>• Bei UV-Licht-Aushärtung können Unregelmäßigkeiten in der Bestrahlung auftreten, insbesondere im Eiprofil</li> <li>• Fehleranfällig hinsichtlich der geforderten Dichtheit und Materialkennwerte, wenn Qualitätssicherungsvorgaben nicht konsequent eingehalten werden</li> <li>• Dampfhärtung: Kondenswasserbildung in Unterbogenbereichen mit der Gefahr einer unzureichenden Aushärtung</li> <li>• Faltenbildung bei engeren Bögen und bei Versätzen</li> </ul>

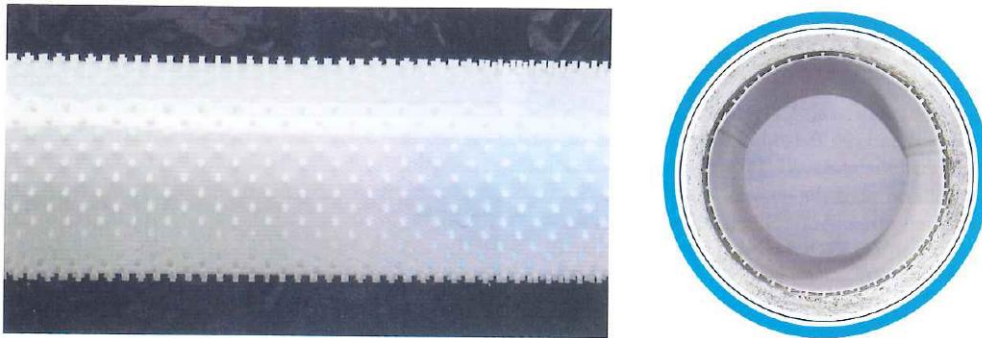
<sup>218</sup> Vgl. MUV BW (2000), S. 23

<sup>219</sup> Vgl. BMVBS (2012), Internetportal, Anhänge 6.2.2 Renovierungsverfahren, aufgerufen am 10.08.2012

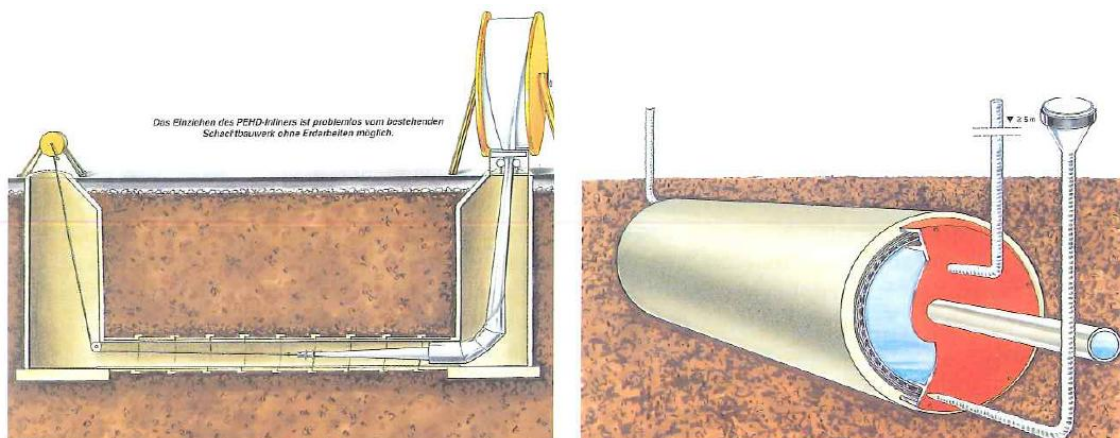


## Trolining<sup>220</sup>

Das auch als Noppenbahnverfahren bekannte Trolining beruht auf der Sanierung mittels eines Inliners mit einseitig extrudierten Noppen. Er wird aus PE-HD-Noppenbahnen angefertigt, wobei die Außenseite von Noppen überzogen, die Innenseite glatt ist. Die Außenseite bildet nach Einzug einen Ringraum, der mit einem Injektionsmörtel verfüllt wird. Durch die Verzahnung der Noppen im Injektionsgut bildet sich ein statisch tragfähiges Rohr.



**Abbildung 3-37:** Trolining, Liner<sup>221</sup>



**Abbildung 3-38:** Trolining, Verfahrensprinzip und Verfüllung Ringraum<sup>222</sup>

Es können Kreis- und Eiprofile saniert werden. Allerdings gibt es noch keine Erfahrungen hinsichtlich der Nutzungsdauer. Da der Inliner später als statisch unabhängig tragfähiges Rohr funktioniert, ist das Verfahren unabhängig vom Werkstoff des zu sanierenden Kanals. Durch die Eigenschaften der PE-HD Innenwand ist das neue Rohr sehr widerstandsfähig gegen chemische Einwirkungen und besitzt eine hohe Abriebsfestigkeit.

<sup>220</sup> Vgl. Plenker (2003), S. 85 f.

<sup>221</sup> Vgl. MURL NRW (1999), S. 76

<sup>222</sup> Vgl. a. a. O., S. 77

Während des Einbaus ist eine Wasserhaltung erforderlich, um die Verschmutzung des Ringraums und negative Beeinflussung des Injektionsmittels zu verhindern. Um den Verbrauch an Injektionsgut kalkulieren zu können, ist es möglich, einen Preliner vor dem eigentlichen Noppeninliner einzuziehen. Dies hat weiterhin den Vorteil, dass die Vermischung des Injektionsmittels mit eindringendem Grundwasser verhindert wird. Die Querschnittsreduzierung ist durch die Größe der Noppen nur gering. Zuletzt sind die Anschlüsse in offener oder geschlossener Bauweise anzubinden.

**Tabelle 3-18:** Randbedingungen, Vor- und Nachteile Trolining<sup>223</sup>

Randbedingungen	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• DN 150 bis 1600</li> <li>• Kreis- und Eiprofile</li> <li>• Haltungslänge max. 120 m</li> <li>• Alle Rohrwerkstoffe</li> <li>• In Bögen einsetzbar (z.B. mit Hilfe eines PE-Rohrbogens)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nur geringe Querschnittsreduzierung</li> <li>• Keine Baugruben erforderlich</li> <li>• Unabhängig von Überdeckungshöhe und Baugrundverhältnissen</li> <li>• Chemische Beständigkeit und Abriebsfestigkeit durch PEHD-Material</li> <li>• Schachtbauwerke können integriert und vollständig mit PEHD ausgekleidet werden</li> <li>• Gute statische Eigenschaften durch Spezialmörtel zur Ringraumfüllung</li> <li>• Variables Baukasten-Prinzip</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Erfahrung hinsichtlich der Nutzungsdauer</li> <li>• Wasserhaltung erforderlich</li> </ul>

## Wickelrohrrelining

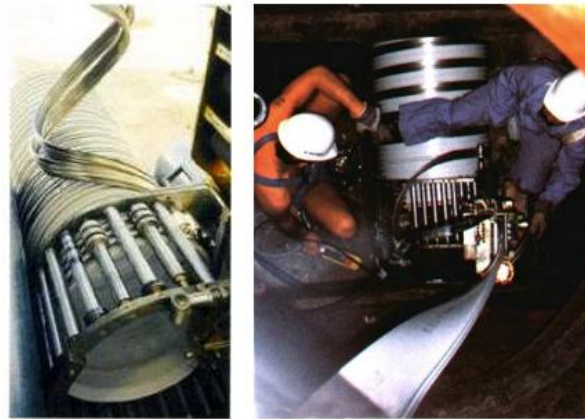
Das Wickelrohrrelining ist ein Verfahren der Auskleidung mit örtlich hergestellten Rohren. Ein Stegprofil wird im Einstiegsschacht durch spiralförmige Wicklung zu einem Rohr geformt. Das Profil besitzt Nut- und Federverbindungen an den Rändern, die zusätzlich noch verklebt oder verschweißt werden können.

Zu Beginn wird die Wickelmaschine im Einstiegsschacht aufgebaut und verankert. Anschließend wird das Profil eingezogen und so lange aufgeweitet, bis es an der Kanalinnenwand anliegt. Durch kontinuierliche Drehung um die eigene Achse und Nachführung des Profils wird das neu entstandene Rohr so bis zum Zielschacht geschraubt. Bei der Variante Wickelrohrrelining ohne Ringraum wird der entstandene Ringraum verfüllt.<sup>224</sup>

---

<sup>223</sup> Vgl. MURL NRW (1999), S. 77

<sup>224</sup> Vgl. BMVBS (2012), Internetportal, Anhänge 6.2.2 Renovierungsverfahren, aufgerufen am 13.08.2012



**Abbildung 3-39:** Wickelrohrrelining, Wickelmaschine im Schacht<sup>225</sup>

Als Vorteil des Verfahrens ist die nicht benötigte Wasserhaltung zu nennen. Es können alle Schäden wie Risse, Scherbenbildung oder Undichtigkeiten, bei denen der Rohrquerschnitt erhalten geblieben ist, saniert werden. Ebenfalls wird die statische Tragfähigkeit des sanierten Rohres verbessert.

Da die Anschlusskanäle von innen nach Einbau nicht mehr sichtbar sind, ist ihre genaue Einmessung im Vorfeld unerlässlich. Bedingt durch die Herstellung („Wicklung“) ist nur die Sanierung von Kreisprofilen, unabhängig von der Nennweite, möglich. „Die Kosten beim Wickelrohrrelining betragen ca. 40 - 50 % einer Neuverlegung in offener Bauweise.“<sup>226</sup>

**Tabelle 3-19:** Randbedingungen, Vor- und Nachteile Wickelrohrrelining<sup>227</sup>

Randbedingungen	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• In Freispiegelleitungen anwendbar</li> <li>• i.d.R. DN 250 bis DN 800, auch andere Profile möglich</li> <li>• Kreisprofil</li> <li>• Unabhängig vom Rohrmaterial</li> <li>• Haltungslängen bis zu 200 m</li> <li>• Bei Grundwasserinfiltration ist eine Vorabdichtung der Schadstellen erforderlich</li> <li>• i.d.R. temporärer Schachtumbau zur Aufnahme der Gerätetechnik erforderlich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geringer Zeitaufwand</li> <li>• Beliebige Durchmesser vor Ort herstellbar</li> <li>• Keine Baugruben erforderlich</li> <li>• Keine Wasserhaltung erforderlich</li> <li>• Erhöhung der statischen Tragfähigkeit des Kanals</li> <li>• Bei infiltrierendem Grundwasser bedingt einsetzbar</li> <li>• Ohne Ringraum: geringe Querschnittsreduzierung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• In Abhängigkeit vom eingesetzten Verfahren (mit Ringraum) größere Querschnittsverluste</li> <li>• Exakte Einmessung der Anschlusskanäle erforderlich, Fehleranfälligkeit bei Anbindung der Anschlusskanäle in geschlossener Bauweise</li> <li>• Ggf. Ringraumverfüllung erforderlich</li> <li>• Durch Spiralform lange Verbindungsstelle</li> <li>• Bögen und Abwinklungen nicht durchfahrbar</li> </ul>

<sup>225</sup> Vgl. <http://www.geoplaning.de/kanalkonkret/wickelrohrrelining.htm>, aufgerufen am 05.12.2010

<sup>226</sup> Vgl. MUV BW (2000), S. 22

<sup>227</sup> Vgl. MURL NRW (1999), S. 86 sowie vgl. BMVBS (2012), Internetportal, Anhänge 6.2.2 Renovierungsverfahren, aufgerufen am 13.08.2012

## Montageverfahren

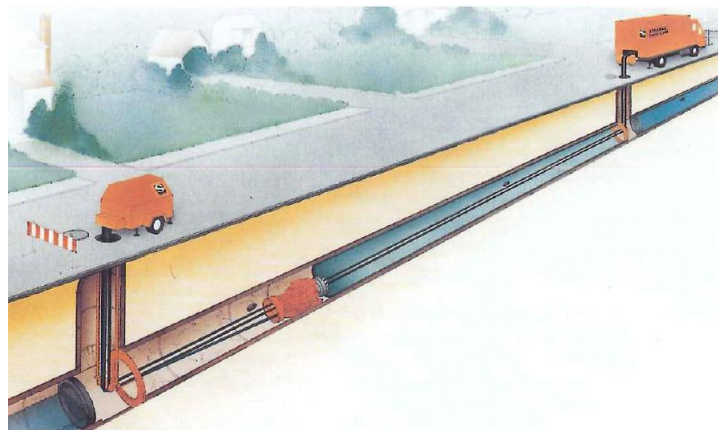
Eine andere Form des Auskleidungsverfahrens ist die Montage von vorgefertigten Einzelelementen in den Rohren. In Abhängigkeit der Lage des zu sanierenden Bereichs kann dies sowohl nur Teile des Querschnitts (Teilauskleidung) als auch den gesamten Rohrumfang (Vollauskleidung) umfassen. Montageverfahren werden i. d. R. nur in begehbaren Kanalhaltungen eingesetzt.<sup>228</sup> Dieses Verfahren wird an dieser Stelle deswegen nicht weiter ausgeführt.

## Beschichtungsverfahren<sup>229</sup>

Der zweite Grund-Verfahrenstyp sind die Beschichtungsverfahren, deren Ziel die Wiederherstellung oder die Erhöhung des Widerstandsvermögens gegen physikalische, biologische, chemische und/oder biochemische Angriffe ist. Man unterscheidet Auspressverfahren, Anschleuderverfahren, Verdrängungsverfahren und Aufspritzverfahren, wobei im nichtbegehbaren Bereich das Auspress- und Anschleuderverfahren die am häufigsten angewandten Verfahren sind.

Beim Auspressverfahren wird eine Schalung in den Kanal eingebracht und der entstehende Hohlraum mit Mörtel ausgepresst. Nach ausreichender Erhärtungszeit wird die Schalung versetzt. Beim Anschleuderverfahren wird ein rotierender Spritzkopf durch die Haltung gezogen, der eine kontinuierliche Mörtelschicht an der Kanalinnenwand erzeugt. Zum Einsatz kommen Mörtel auf Zement-, Kunststoff- oder Reaktionsharzbasis.

Da die Haftung der Beschichtung sehr von der Rauheit des Untergrunds abhängt, ist die Anwendung vor allem für Betonrohre zu empfehlen. Eher schlechte Ergebnisse werden auf glattem Untergrund wie bei Steinzeug erzielt. Prinzipiell ist die Anwendung aber auf jedem Untergrund möglich, diese müssen im Vorfeld nur ausreichend aufgeraut werden.



**Abbildung 3-40:** Beschichtungsverfahren, Prinzip Anschleuderverfahren<sup>230</sup>

---

<sup>228</sup> Vgl. BMVBS (2012), Internetportal, Anhänge 6.2.2 Renovierungsverfahren, aufgerufen am 13.08.2012

<sup>229</sup> Vgl. Plenker (2003), S. 77

<sup>230</sup> Vgl. MURL NRW (1999), S. 87





**Abbildung 3-41:** Beschichtungsverfahren, Anschleudermaschine<sup>231</sup>

Vor Verfahrensbeginn ist der Kanal zu reinigen und von Ablagerungen und sonstigen Hindernissen zu befreien. Dringt Grundwasser in das Rohr ein, kann keine Beschichtung erfolgen, da das Wasser den Mörtel beeinflussen würde. In jedem Fall ist eine Wasserhaltung einzurichten. Im Gegensatz zu den Auskleidungsverfahren ist eine Öffnung der Anschlusskanäle nach Abschluss der Maßnahme nicht erforderlich und der Rohrquerschnitt wird nur sehr gering reduziert. Um das Verfahren anwenden zu können, sollte die Haltung möglichst gerade verlaufen und keine axialen Lageabweichungen aufweisen.

**Tabelle 3-20:** Randbedingungen, Vor- und Nachteile Beschichtungsverfahren<sup>232</sup>

Randbedingungen	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• DN 150 bis DN 600</li> <li>• Kreisprofil</li> <li>• Unabhängig vom Rohrmaterial</li> <li>• Haltungslänge max. 100 m</li> <li>• Möglichst geradlinige Haltung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nur geringe Querschnittsreduzierung</li> <li>• Unabhängig von Überdeckungshöhe und Baugrundverhältnissen</li> <li>• Keine Baugrube erforderlich</li> <li>• Kein Öffnen der Stutzen erforderlich</li> <li>• Fugenloser Inliner</li> <li>• Erhöhung der statischen Tragfähigkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bislang wenig praktische Erfahrung im Einsatz mit Kanälen</li> <li>• Wasserhaltung erforderlich</li> <li>• Bei infiltrierendem Grundwasser nicht einsetzbar</li> <li>• Axiale Lageabweichungen werden nicht überbrückt</li> </ul>

### 3.3.4 Erneuerungsverfahren

#### Offene Bauweise

Die Erneuerung eines sanierungsbedürftigen Kanals ist gleichzusetzen mit einem Kanalneubau. Das alte Rohr ist in einer Baugrube freizulegen, zu entfernen und durch ein neues zu ersetzen. Da eine komplette Baugrube erstellt wird, kann der neue Kanal an alle zukünftigen Anforderungen angepasst werden. Man ist frei in der Wahl von Querschnittsform, Abmessung, Werkstoff, Tiefenlage oder Trassenführung.

<sup>231</sup> ebenda

<sup>232</sup> ebenda

Je nach Lage der Kanäle im Straßenquerschnitt sind ein Aufbruch der Straßendeckschicht und eine Verkehrsumleitung erforderlich. Vor allem die Wiederherstellung der Deckschicht spielt in Hinsicht auf die Kosten eine große Rolle. Des Weiteren ist die Kenntnis über kreuzende oder parallel laufende Leitungen zwingend notwendig, um eine Erneuerung in offener Bauweise durchführen zu können. Bei dieser Verfahrensweise ist besonders auf die indirekten Kosten (*siehe Kapitel 4.4.2*) zu achten, da diese bei offener Bauweise sehr groß werden können.

**Tabelle 3-21:** Vor- und Nachteile offene Bauweise<sup>233</sup>

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Herstellung eines Kanals auch mit größerem Querschnitt, der zukünftigen Anforderungen genügt</li> <li>• Herstellung ist unabhängig von Schadensarten, Querschnittsform, Abmessungen, Werkstoffen, geologischen und hydrogeologischen Verhältnissen, Tiefenlage, Trassenführung und Bettung</li> <li>• Kontaminierte Bodenbereiche können teilweise mit entfernt werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Besonders im innerstädtischen Bereich entstehen große Beeinträchtigungen des Verkehrs sowie der umliegenden Anwohner durch die erforderliche Baugrube, die in Abhängigkeit von der Haltungslänge sehr groß werden kann</li> <li>• Höhere Kosten durch den Aushub und Abtransport des ausgehobenen Materials</li> </ul>

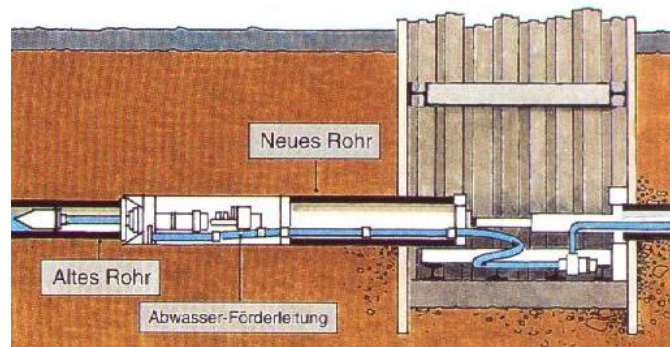
### Mikro-Tunneling (Pipe Eating)

Das Mikro-Tunneling Verfahren ist ähnlich dem konventionellen grabenlosen Kanalbau durch Rohrvortrieb möglich. Die alte Kanaltrasse wird hierbei überfahren und das schadhafte Rohr mit speziellen Abbauwerkzeugen abgefräst.<sup>234</sup> Gleichzeitig wird ein Kanal mit gleicher oder größerer Nennweite hergestellt.

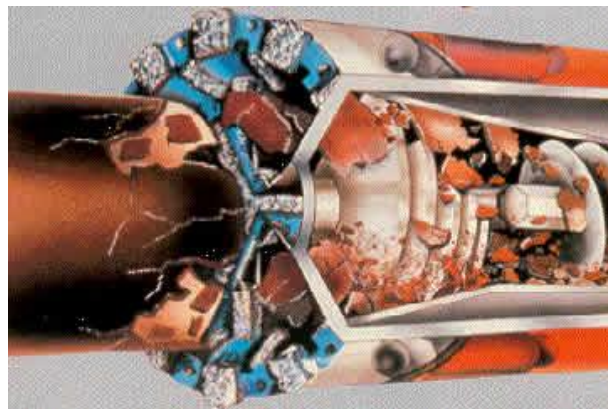
Um eine unnötige Zerstörung zu vermeiden, müssen Anschlusskanäle vor Beginn des Verfahrens abgetrennt werden, im Anschluss werden diese mittels Anbohrstutzen wieder an den neuen Kanal angebunden. Durch die Komplexität des Pipe-Eating sind eine umfangreiche Baustelleneinrichtung, ein großer Geräteaufwand und eine Einbaugrube erforderlich. Hierdurch entstehen enorme Fixkosten, die das Verfahren nur in Ausnahmefällen zur Anwendung kommen lassen. Allerdings können sich diese Kosten durch das Einsparpotential im Bereich der indirekten Kosten relativieren.

<sup>233</sup> Vgl. MUV BW (2000), S. 32

<sup>234</sup> Vgl. Zech, (2009), S. 568



**Abbildung 3-42:** Pipe-Eating, Verfahrensprinzip<sup>235</sup>



**Abbildung 3-43:** Pipe-Eating, Tunnelbohrmaschine<sup>236</sup>

**Tabelle 3-22:** Randbedingungen, Vor- und Nachteile Pipe-Eating<sup>237</sup>

Randbedingungen	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• DN 250 bis DN 800</li> <li>• Bei Beton-, Steinzeug- und Asbestzementrohren, nicht Stahlbetonrohre</li> <li>• Mindestüberdeckung: i.d.R. ab 3 m</li> <li>• Ggf. Grundwasserabsenkung im Bereich der Baugruben erforderlich</li> <li>• Start- und Zielbaugruben sowie Baugruben in Anschlussbereichen erforderlich</li> <li>• Mindestabstand zu baulichen Einrichtungen und angrenzenden Außenanlagen (z.B. Gas-, Wasser- und Wärmeversorgung sowie Verkehrsanlagen): i.d.R. 2 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Insbesondere beim Micro-tunneling hohe Wirtschaftlichkeit bei sehr tiefen Kanaltassen</li> <li>• Querschnittsvergrößerung möglich</li> <li>• Hohe Lebensdauer des neuen Kanals und der neuen Anschlüsse</li> <li>• Minimale Bodenabfuhr</li> <li>• Witterungsunabhängig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unwirtschaftlich bei dicht vermaschten Hausanschlüssen und vergleichsweise geringer Einbautiefe</li> <li>• Erforderliche Bettungsstärke im Bereich der Rohrleitungszone nicht beeinflussbar bzw. nicht erreichbar</li> <li>• Ggf. Gefährdung angrenzender Außenanlagen (z.B. Gas-, Wasser-, Wärmeversorgung sowie Verkehrsanlagen) durch temporären Druckaufbau beim Vortrieb und Bodenverdichtung in Abhängigkeit der Entfernung, vom Material/Werkstoff der baulichen Einrichtungen sowie der Bodenart</li> </ul>

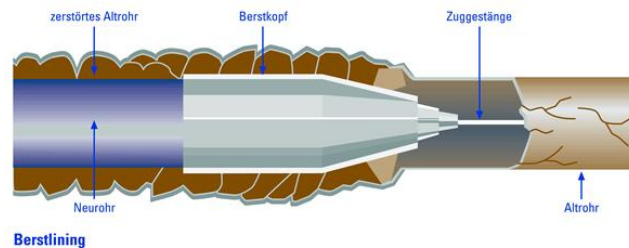
<sup>235</sup> Vgl. <http://www.geoplaning.de/kanalkonkret//pipe-eating.htm>, aufgerufen am 05.12.2010

<sup>236</sup> Vgl. [http://www.ars-rohrvortrieb.de/technik\\_s2.html#INFRAMELINK#](http://www.ars-rohrvortrieb.de/technik_s2.html#INFRAMELINK#), aufgerufen am 05.12.2010

<sup>237</sup> Vgl. BMVBS (2012), Internetportal, Anhänge 6.2.3 Erneuerungsverfahren, aufgerufen am 13.08.2012

## Berstlining

„Beim Berstverfahren wird ein Berstkörper durch einen defekten, außer Betrieb gesetzten Kanal gezogen, der die Rohrwandung zerstört und in den anstehenden Baugrund verdrängt. Unmittelbar hinter dem Berstkörper wird ein neuer Kanal gleicher oder größerer Nennweite eingebaut. Somit ist keine Bodenentnahme erforderlich.“



**Abbildung 3-44:** Berstlining, Verfahrensprinzip<sup>238</sup>



**Abbildung 3-45:** Berstlining, Übersicht<sup>239</sup>



**Abbildung 3-46:** Berstlining, Berstkopf<sup>240</sup>

<sup>238</sup> Vgl. <http://www.frisch-faust.de/produkte/kanalbau/grabenlos.shtml>, aufgerufen am 05.12.2010

<sup>239</sup> Vgl. <http://www.rssr.cc/home/berstlining/>, aufgerufen am 05.12.2010

<sup>240</sup> Vgl. <http://www.angerlehner.at/leistungen/leitungssanierung/berstlining/>, aufgerufen am 05.12.2010

Voraussetzungen für die Anwendung sind kreisförmige Querschnitt, möglichst spröde Werkstoffe (Grauguss, Steinzeug, Beton), ein verdichtungsfähiger Boden sowie eine geradlinige Haltung ohne größere Abwinklungen oder Versätze. Außerdem sollte ein möglichst großer Abstand zur Oberfläche eingehalten werden, um dort zu starke Verformungen zu vermeiden.“<sup>241</sup>

Im Vorfeld des Verfahrens sind in der Regel alle angrenzten Anschlusskanäle abzutrennen, um deren unkontrollierte Zerstörung zu vermeiden. Dies geschieht mit kleinen offenen Baugruben. Das neue Rohr kann aus bis zu 12 m langen Teilrohren bestehen. Diese werden auf der Baustelle zusammengeschweißt. Bei Verwendung von Langrohren ist vorab eine Startbaugrube herzustellen, bei Kurzrohren reicht ein Schacht aus. Infolge von inhomogenen Zuständen im Boden kann es zu einem ungleichmäßigen Verlauf des neuen Kanals kommen. Dies kann nur mit Nachbesserungen in offener Bauweise behoben werden. Es besteht aber die Gefahr, dass das neue Rohr infolge Setzungen durch Scherben des Altrohres beschädigt wird.<sup>242</sup>

Um spätere Beschwerden der Anwohner über Schäden an Gebäuden infolge der Erschütterungen zu vermeiden, ist eine präventive Beweissicherung empfehlenswert. „Die Kosten beim Berstlining-Verfahren betragen ca. 70 % einer Neuverlegung.“<sup>243</sup>

**Tabelle 3-23:** Randbedingungen, Vor- und Nachteile Berstlining<sup>244</sup>

Randbedingungen	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• DN 100 bis DN 600</li> <li>• Kreisprofil</li> <li>• Geeignet für Rohre aus Steinzeug, Beton, Faserzement, PVC, Grauguss, Stahl</li> <li>• Anwendung oberhalb des Grundwasserspiegels (ggf. Grundwasserabsenkung erforderlich)</li> <li>• Geradlinige Haltung</li> <li>• Durchgängigkeit für Zugseil muss gegeben sein</li> <li>• Mindestabstände zu baulichen Einrichtungen und angrenzenden Außenanlagen sind einzuhalten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verwendung von werksmäßig hergestellten Rohren und Bauteilen mit definierten Materialeigenschaften</li> <li>• Kurze Bauzeiten</li> <li>• i.d.R. keine Vorarbeiten zur Beseitigung von Hindernissen erforderlich</li> <li>• Keine Querschnittsreduzierung, Querschnittsvergrößerung in geringem Umfang möglich</li> <li>• Neurohr statisch tragfähig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufwändige Wiederanbindung von Anschlussleitungen in offener Bauweise</li> <li>• Geräusch- und Erschütterungsemission (dynamisches Bersten)</li> <li>• Start- und Zielbaugrube erforderlich</li> <li>• Einsatz spröder Rohrwerkstoffe nur beim Einschubverfahren möglich</li> <li>• Gefahr der Beschädigung des Neurohrs durch Auflagerung auf Scherben</li> <li>• Durch unplanmäßige Verdichtungen im Baugrund Gefahr von Setzungen</li> <li>• Gefahr von Schäden an Straßen und anderen Leitungen</li> <li>• Mögliche Abweichung von der Solllage bei inhomogenem Baugrund</li> </ul>

<sup>241</sup> Vgl. MUV BW (2000), S. 32

<sup>242</sup> Vgl. MURL NRW (1999), S. 86 f.

<sup>243</sup> Vgl. MUV BW (2000), S. 32

<sup>244</sup> Vgl. BMVBS (2012), Internetportal, Anhänge 6.2.3 Erneuerungsverfahren, aufgerufen am 13.08.2012





## 4. Strategische Sanierungsplanung

### 4.1 Begriffserläuterungen

#### 4.1.1 Ebenen in der Sanierungsplanung

Im Rahmen der Sanierungsplanung legt jede Kommune fest, mit welchen Verfahren zu welchen Zeitpunkten konkrete Sanierungsmaßnahmen im Entwässerungsnetz umgesetzt werden sollen. Um eine optimale Lösung für die Festlegung des Sanierungsplans zu finden, müssen Kriterien berücksichtigt werden, die auf den Prozess der Sanierungsplanung Einfluss haben. Dies beginnt bereits bei grundsätzlichen Aspekten, wie z.B. den gesetzlichen Vorgaben im Umgang mit den Entwässerungsnetzen. Es kommen aufgrund der speziellen Randbedingungen und Anforderungen der Entwässerungsnetze in den einzelnen Kommunen individuelle Entscheidungskriterien hinzu, die festzulegen und zu beachten sind.

Geht es hierbei darum, geeignete Verfahren zur Sanierung schadhafter Haltungen festzulegen, so gibt es zahlreiche Kriterien, die auf dieser **„Haltungsebene“** zur Entscheidungsfindung zur Verfügung stehen. Kriterien, die für die Festlegung einzelner Grundstrategien sorgen, kommen zur strategischen Betrachtung der Sanierungsplanung im gesamten Entwässerungsnetz einer Kommune, der **„Netzebene“**, zur Anwendung. Die Netzebene stellt hierbei die Summe aller Haltungen dar.

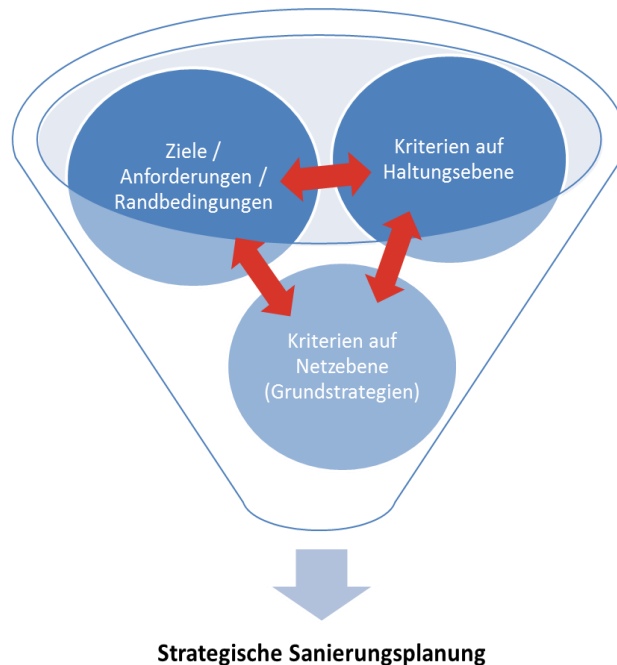


**Abbildung 4-01:** Zusammenhang zwischen Netzebene und Haltungsebene<sup>245</sup>

Beginnend bei der Feststellung und Beurteilung des Istzustandes des Entwässerungsnetzes wird unter Einbezug aller Kriterien auf Netzebene und auf Haltungsebene ein „multikriterielles“ Zielsystem erstellt. Auf dessen Grundlage wird mit der Festlegung von Prioritäten und Entscheidungen über Verfahrensalternativen in Verbindung mit der Berücksichtigung der Sanierungsziele einer Kommune und den individuellen Anforderungen und Randbedingungen eines Entwässerungsnetzes eine Mehrdimensionalität in der Sanierungsplanung geschaffen und damit eine systematische Sanierungsplanung ermöglicht. Diese mehrdimensionale Herangehensweise kann als strategischer

<sup>245</sup> In Anlehnung an Rothhaar (2011), S. 45

Ansatz im Sinne von „Planung einer Konzeption zur Erreichung eines Zieles“<sup>246</sup> verstanden werden, so dass die in *Abbildung 4-02* beschriebene Zusammenführung aller Ebenen im Rahmen dieser Arbeit als **„strategische Sanierungsplanung“** bezeichnet werden soll.



**Abbildung 4-02:** Mehrdimensionalität in der Sanierungsplanung<sup>247</sup>

Die Überlegungen zur Festlegung eines Strategieansatzes („Strategiemix“) einer Kommune, bestehend aus einzelnen Grundstrategien nach DWA-M 143-14:2005, kann unter Betrachtung aller Entscheidungskriterien auf Netzebene als **„multikriterielle Sanierungsstrategie“** bezeichnet werden. Auf der anderen Seite findet aufgrund der zahlreichen Entscheidungskriterien, die zur Wahl geeigneter Sanierungsverfahren bei schadhafte Haltungen zur Verfügung stehen, auf Haltungsebene eine **„multikriterielle Verfahrenswahl“** statt.

„Eine auf Substanzerhalt und Nachhaltigkeit gerichtete Bewirtschaftungsstrategie leistet für die Netzbetreiber einen wichtigen Beitrag zur Stabilisierung der Kostenentwicklung und für die Gebührenzahler zur Stabilisierung ihrer wirtschaftlichen Belastung.“<sup>248</sup> Nur die systematische Zusammenführung der Entscheidungskriterien auf Netzebene und auf Haltungsebene führt zu einer strategischen Sanierungsplanung. Durch Berücksichtigung der multikriteriellen Ansätze soll ein nachhaltiger Substanzwerterhalt der Netze mit sukzessivem Abbau des enormen (aktuell nach wie vor vorhandenen) Sanierungsbedarfs erzielt werden. Diese Ansätze sollen es den Kommunen ermöglichen, trotz erhöhter spezifischer Kosten stabile Gebühren für die Nutzer zu gewährleisten.

<sup>246</sup> Vgl. DWA-M 143-14 (2005), Seite 3

<sup>247</sup> In Anlehnung an Ochs (2011), S. 15

<sup>248</sup> Vgl. Körkemeyer et al. (2009), Seite 15



### 4.1.2 Sanierungsstrategie

Unter einer Instandhaltungsstrategie wird nach DIN EN 13306:2010 die „Vorgehensweise des Managements zur Erreichung der Instandhaltungsziele“ verstanden. Das DWA Merkblatt 143 Teil 14 umschreibt die Vorgehensweise des Managements als „*Planung einer Konzeption* zur Erreichung eines Zieles“. Die wesentlichen übergeordneten Ziele sind hierbei die Verfügbarkeit, die Kostenreduzierung bzw. Verstetigung der Kosten, der Umweltschutz und die Werterhaltung bzw. der Substanzwerterhalt des Instandhaltungsobjektes.

Als Strategieansatz können zur Instandhaltung von Bauwerken grundsätzlich korrektive und präventive Maßnahmen geplant und durchgeführt werden. Man entscheidet demnach zwischen dem Beheben von Ausfällen (korrektiv) und dem Vermeiden von Ausfällen (präventiv).

Im Hochbau stellt die Ausführung korrektiver Maßnahmen ein geeignetes Mittel zur Ausnutzung der Lebensdauer und somit ein zeitliches „Schieben“ notwendiger Instandsetzungskosten dar. Korrektive Maßnahmen können hierbei kostenreduzierende Auswirkungen zeigen, jedoch nur unter der Voraussetzung, keine Folgeschäden mit immanenter Kostenexplosion zu verursachen. Darüber hinaus darf kein besonderer Anspruch an die Verfügbarkeit durch den Nutzer vorliegen.

Im Tiefbau, bei Entwässerungsnetzen, gelten durch gesetzliche Vorgaben des Umweltschutzes und der Betriebssicherheit andere Voraussetzungen. Der Anwendung korrektiver Maßnahmen wird durch die gesetzlichen Vorgaben zum Umweltschutz sowie durch den Anspruch zur Maximierung der Anlagenverfügbarkeit<sup>249</sup> der Entwässerungssysteme, eines der Hauptziele der Kanalbetriebe, ein Riegel vorgeschoben. Das Ziel korrektiver Maßnahmen, die Lebensdauer der Kanäle vollständig auszunutzen und demnach Kosten durch den verzögerten Einsatz finanzieller Mittel einzusparen, darf aufgrund der gesetzlichen Reglementierung unter strategischen Gesichtspunkten nicht verfolgt werden. Es muss zwingend auf die Planung und Durchführung präventiver Maßnahmen geachtet werden.

Zur Unterstützung einer präventiven Sanierungsplanung existieren grundsätzliche Strategien für die Sanierung von Entwässerungsnetzen, die in drei Gruppen unterteilt werden können:

- „Strategien zur Festlegung des Qualitätsniveaus eines Entwässerungssystems und des zugehörigen finanziellen Volumens,
- Strategien zur Festlegung der geeigneten technischen und zeitlichen Sanierungsreihenfolge anhand von Prioritäten,
- Strategien zur Reaktion auf unvorhersehbaren Sanierungsbedarf.“<sup>250</sup>

Die Beschreibung der nach DWA Merkblatt 143-14 genannten sechs Grundstrategien als Ausgangsbasis für die Sanierung von Entwässerungsnetzen folgt im *Kapitel 4.3.2* dieser Arbeit.

<sup>249</sup> Vgl. Haussmann (1995), Seite 75 ff.

<sup>250</sup> Vgl. DWA-Kommentar zum DWA-M 143-14 (2007), Seite 34

### 4.1.3 Ganzheitliche generelle Sanierungsplanung (GSP)

Allgemein beinhaltet die Sanierungsplanung im weiteren Sinne die Aspekte

- Voruntersuchung (Vorplanung),
- Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes und
- Erarbeitung der Lösungen.

Die Erarbeitung von Lösungen befasst sich konkret mit den Elementen „Erarbeitung ganzheitlicher Lösungen“, „Beurteilung der Lösungen“ und „Erstellung des Sanierungsplans“. Dies umfasst dementsprechend die Arbeitsschritte der **generellen Sanierungsplanung** und der **ganzheitlichen Sanierungsplanung**.<sup>251</sup>

Die *generelle Sanierungsplanung* stellt haltungswise unter Berücksichtigung der Netzzusammenhänge und Ursachen, mögliche Sanierungsalternativen mit entsprechenden Kosten und Nutzungsdauern zusammen. Des Weiteren wird im Rahmen der generellen Sanierungsplanung eine Entscheidung über die Sanierungsart (Reparatur, Renovierung, Erneuerung) getroffen und die Rangfolge von Sanierungsmaßnahmen in Form von Prioritäten bestimmt. Durch den Überblick über Lage, Dringlichkeit, Art und Kosten von erforderlichen Sanierungsmaßnahmen stellt die generelle Sanierungsplanung einen zentralen Planungsschritt zur Ermittlung von Kostenbudgets sowie zur planvollen und effizienten Umsetzung der Beseitigung der festgestellten Defizite dar.<sup>252</sup>

Darauf aufbauend werden bei der *ganzheitlichen generellen Sanierungsplanung (GSP)* zusätzlich zu den technischen Zielen des Kanalnetzbetreibers weitere Randbedingungen und Einflussfaktoren berücksichtigt, wie z.B.:<sup>253</sup>

- Planungen und Ziele weiterer Beteiligter (Mehrspartenansatz, z.B. Straßenerneuerung, Versorgungsnetze),
- Zustand und Sanierungsmaßnahmen der privaten Anschlusskanäle und -leitungen,
- funktionelle Umgestaltung des Kanalnetzes
- Berücksichtigung der Überflutungssicherheit
- Berücksichtigung weiterer Ziele des Netzbetreibers (z.B. Fremdwassersanierung, Substanzwertstrategie usw.).

In der *ganzheitlichen generellen Sanierungsplanung* werden im gesamten Netzüberblick die flächendeckende Sanierung als Rahmenplanung vorbereitet, die Kosten zusammengestellt und grundsätzliche Verfahrensentscheidungen auf Netzebene und Haltungsebene getroffen.<sup>254</sup>

---

<sup>251</sup> Vgl. Milojevic et al. (2005a), S. 23 f.

<sup>252</sup> Vgl. Milojevic et al. (2005b), S. 12

<sup>253</sup> Vgl. a. a. O., S. 13

<sup>254</sup> ebenda

## 4.2 Ziele und Ansätze im Kanalmanagement

### 4.2.1 Übergeordnete Ziele in der Entwässerung

#### Ziele von Entwässerungssystemen<sup>255</sup>

Grundsätzlich gibt es vier Ziele, die mit einem Entwässerungssystem verfolgt und umgesetzt werden sollen. Neben der **öffentlichen Gesundheit und Sicherheit** sind dies der **Umweltschutz**, die **nachhaltige Entwicklung** und die **Gesundheit und Sicherheit des Betriebspersonals**.

Entwässerungssysteme werden vorgesehen, um sowohl die Gesundheit und Sicherheit der öffentlichen Bevölkerung sowie des Betriebspersonals zu gewährleisten, als auch die Auswirkungen auf die Umwelt zu kontrollieren. Ziel hierbei ist es, „das System so zu planen, zu bauen, zu betreiben, zu unterhalten und zu sanieren, dass die mit der Ableitung von Abwasser verbundenen Gesundheits- und Sicherheitsrisiken“, aber auch die Auswirkungen auf die Umwelt, minimiert werden. Darüber hinaus soll es das Ziel sein, die „Risiken für die Gesundheit und Sicherheit des Betriebspersonals zu minimieren, die während Bau, Betrieb, Unterhalt und Sanierung auftreten können“.

Auch die nachhaltige Entwicklung des Entwässerungssystems soll gewährleistet sein. Auch hierbei muss versucht werden, das System unter optimalen Umweltbedingungen sowie sozialen und wirtschaftlichen Aufwendungen zu planen, bauen, betreiben, warten und sanieren. Unter Nachhaltigkeit wird dabei die Verwendung von Werkstoffen verstanden, die eine „Erschöpfung von endlichen Ressourcen minimieren“. Darüber hinaus ist es das Ziel einer nachhaltigen Entwicklung, dass das Entwässerungssystem mit „minimalem Energieaufwand betrieben [...], und es mit minimalen Auswirkungen auf die Umwelt gebaut, betrieben und am Ende der Nutzungszeit stillgelegt werden kann.“

#### Ziele der Kanalbetriebe

„Das Ziel eines Kanalnetzbetreibers ist die **Aufrechterhaltung der Funktions- und Betriebssicherheit** seines Netzes unter Berücksichtigung **wirtschaftlicher Belange**. Es steht im Zusammenhang mit folgenden **technischen Teilzielen**:

- Standsicherheit
- Funktion, Betriebsfähigkeit, hydraulische Leistungsfähigkeit,
- Dichtheit.

Die Bewertung dieser Teilziele für das zu betreibende Netz führt zur Definition des individuellen Sollzustandes und damit zur Festlegung des Maßes der gewünschten oder angestrebten Funktions- und Betriebssicherheit. Hierbei sind die Finanzziele in ausreichendem Maße zu berücksichtigen.<sup>256</sup>

<sup>255</sup> Vgl. DIN EN 752 (2008), S. 17 f.

<sup>256</sup> Vgl. Rubach et al. (2001), S. 386

Systeme, die diese Ziele nicht mehr erfüllen, müssen durch Sanierung wieder in einen funktionsfähigen Sollzustand gebracht werden. Näheres zu den Teilzielen wird im *Kapitel 4.2.3* beschrieben.

#### 4.2.2 Anforderungen an ein Entwässerungsnetz

##### **Funktionalanforderungen**<sup>257</sup>

Die Anforderungen an die Funktionalität eines Entwässerungsnetzes resultieren aus den Sanierungszielen und den Aufgaben des Entwässerungssystems. „[Sie] müssen unter Berücksichtigung des Gesamtsystems so festgelegt werden, dass bei Ergänzungen oder Änderungen des Systems die ursprünglichen Planungsziele weiterhin eingehalten werden. Die Anforderungen sind ferner unter Berücksichtigung der nachhaltigen Entwicklung und der Gesamtnutzungskosten einschließlich der indirekten Kosten (z.B. Kosten durch Störungen im öffentlichen Bereich) so festzulegen, dass Entwässerungssysteme das Abwasser ableiten und abgeben, ohne unzulässige Umweltbeeinträchtigungen, Risiken für die öffentliche Gesundheit oder für das Betriebspersonal zu verursachen.“

Funktionalanforderungen bei Entwässerungsnetzen sind z.B.:

- Schutz vor Überflutung
- Grundwasserschutz
- Vermeidung von Lärm, Erschütterungen, Gerüchen sowie giftigen, explosiven oder korrosiven Gasen
- Nachhaltige Verwendung von Energie, Produkten und Werkstoffen
- Wasserdichtheit
- ....

##### **Leistungsanforderungen**<sup>258</sup>

„Um die Leistung des [Entwässerungs-] Systems zu beurteilen [...] müssen von jeder Funktionalanforderung messbare Leistungsanforderungen abgeleitet werden.“ Die Leistungsanforderungen beziehen sich hierbei auf die Planung, den Bau, den Betrieb, den Unterhalt und die Sanierung von Abwasserleitungen und -kanälen. „Prinzipiell müssen die Leistungsanforderungen an ein saniertes System denen an ein neues System entsprechen.“

#### 4.2.3 Sanierungsziele

In Deutschland sind mehr als eine halbe Million Kilometer öffentliches Entwässerungsnetz vergraben, hinzu kommt etwa die zwei- bis dreifache Länge an privater Kanalisation. Dieser Vermögenswert verliert täglich aufgrund des Verzehrs an Abnutzungsvorrat durch bestimmungsgemäße Nut-

---

<sup>257</sup> Vgl. DIN EN 752 (2008), S. 18 f.

<sup>258</sup> Vgl. a. a. O., S. 21

zung und unvorhersehbare Schäden an Wert. Zudem können Schäden an den Kanälen, mit Folgen wie Kontamination von Grundwasser und Boden, gesundheits- und umweltgefährdend sein. Deshalb ist es wichtig, die öffentlichen wie auch die privaten Entwässerungsnetze funktionsfähig, dicht und standsicher zu erhalten. In der Sanierungsplanung kommunaler Entwässerungsnetze soll für die Einhaltung dieser Vorgaben gesorgt werden. Dabei werden im Rahmen der Sanierungsplanung verschiedene Sanierungsziele formuliert, die im Folgenden zusammengefasst werden.

### **Grundsätzliche Instandhaltungsziele**

Nach DIN EN 13306:2010 werden Instandhaltungsziele als „zugewiesene und akzeptierte Ziele für Aktivitäten der Instandhaltung [verstanden]. Diese Ziele können z.B. Verfügbarkeit, Kostenreduzierung, Produktqualität, Umweltschutz, Sicherheit sowie Werterhaltung des Instandhaltungsobjekts einschließen.“<sup>259</sup>

### **Allgemeine Sanierungsziele<sup>260</sup>**

Der Kommentar zum DWA Merkblatt 143-14 erwähnt den Begriff „**Teilziele**“. Eine nachhaltige Kanalsanierung kann gewährleistet werden, wenn **technische, betriebswirtschaftliche** und **rechtliche** Teilziele gemeinsam und zusammenhängend beachtet und umgesetzt werden. Wesentliche Sanierungsziele wie Bauzustand, Funktionssicherheit, optimierte Betriebskosten und rechtliche Betriebssicherheit können dadurch kurz- bis mittelfristig eventuell nur langfristig erreicht werden. „Alle drei Teilziele gehen [hierbei] ineinander über bzw. stehen in Abhängigkeit voneinander. Es obliegt dem Netzbetreiber, in Abhängigkeit der örtlichen Voraussetzungen die drei Teilzielgruppen angemessen zu berücksichtigen.“

### **Teilziele<sup>261</sup>**

Der Entwurf der DIN EN 14654-2:2011 präzisiert die Teilziele und fordert, dass vor Festlegung eines Sanierungsansatzes diese Teilziele als „messbare Ziele“ klar definiert werden müssen. In *Tabelle 4-01* sind die einzelnen Aspekte der drei Teilziele zusammengefasst.

---

<sup>259</sup> Vgl. DIN EN 13306 (2010), S. 6 f.

<sup>260</sup> Vgl. DWA-Kommentar zum DWA-M 143-14 (2005), S.18

<sup>261</sup> Vgl. E DIN EN 14654 Teil 2 (2011), S. 30 f.

**Tabelle 4-01:** Teilziele der Sanierung

Art	Element	Beschreibung
Technische Teilziele	Dichtheit	Alle Abwasserleitungen und -kanäle müssen vom Ursprungsort des Abwassers bis zum Einleitungspunkt zum Zeitpunkt der Konstruktion wasserdicht sein.
	Stabilität	Abwasserleitungen und -kanäle müssen baulich intakt und ausreichend robust sein, um sicherzustellen, dass vorgesehene und erwartete Nutzlasten und innere Lasten nicht zu einem Versagen führen.
	Betriebliche Leistung	Der Zustand eines Entwässerungssystems muss auch durch eine ausreichende Betriebssicherheit gekennzeichnet sein. Dies betrifft: 1) den sicheren Betrieb für einen ungefährlichen Abwasserabfluss 2) die Herstellung eines Zustands (unabhängig vom baul. Zustand), der vor allem Folgendes unterstützt: Verhütung von Unfällen, Minimierung von Ablagerungen, Minimierung von Geruchs- und Geräuschemissionen
Wirtschaftliche Teilziele	Werterhalt	Vermeidung einer Minderung des Anlagewerts oder Ausgleich vergangener Wertminderungen
	Langfristiger Budgetplan	Bestimmung der langfristigen finanziellen Bedarfe zur Erreichung der definierten Ziele durch Erstellung von Investitionsbedarfsplänen
	Transparenz bei Gebühren	Begründung einer Aufstockung der finanziellen Mittel, einschließlich Ermittlung von Kosten und Nutzen; Vorhersage und Ausgleich zukünftiger Abwassergebühren
	Reduzierung indirekter Kosten	Festlegung von Arbeitsphasen, um Verkehrsbehinderungen und Störungen der Anwohner auf einem annehmbaren Maß zu halten
	Kontinuität der Kapazitäten	Festlegung von Arbeitsphasen, um eine einheitliche Arbeitslast zu erreichen, damit Personal und Geräte bestmöglich eingesetzt werden können
Rechtliche Teilziele	Genehmigungen	Einhaltung von Einleitungsgenehmigungen; Regelungen zum Gesundheits- und Arbeitsschutz; Betriebsgenehmigungen
	Verbindlichkeiten gegenüber Dritten	Einhaltung von Verkehrssicherungspflichten, Unfallverhütungsvorschriften, mögliche Haftungsansprüche Dritter

### Spezielle Sanierungsziele der Entwässerungsbetriebe

Die Umsetzung allgemeiner Sanierungsziele sieht grundsätzlich vor, dass schwerwiegende Schäden kurzfristig saniert werden. Mittel- bis langfristig werden im Rahmen der Sanierungsplanung alle weiteren Schäden behoben. Damit wird schließlich ein funktionsfähiges, betriebssicheres, dichtes und nachhaltiges Entwässerungsnetz geschaffen.

Ergänzt werden diese allgemeinen Sanierungsziele durch spezielle Ziele, die je nach Situation und Randbedingungen in einem Entwässerungsnetz auch zu einer individuellen Zielsetzung des Entwässerungsbetriebes führen können. Die festgelegten, speziellen Ziele sorgen für eine Priorisierung in der Sanierungsplanung, wodurch die Sanierungen entsprechender Schadensgruppen vorgezogen werden.

So kann z.B. ein Entwässerungsbetrieb erhebliche Probleme mit erhöhtem Fremdwasseraufkommen haben. Ein spezielles Ziel in der Sanierungsplanung des Betriebes ist folglich die Fremdwasserreduzierung. Dieses spezielle Ziel führt in der allgemeinen Sanierungsplanung dazu, dass sämtlich Maßnahmen unter dem Aspekt der Fremdwasserreduzierung geprüft und Sanierungsmaßnahmen daraufhin festgelegt werden.

**Tabelle 4-02:** Spezielle Sanierungsziele der Entwässerungsbetriebe<sup>262</sup>

Ziel	Beschreibung	Zieldefinition
Gefahrenabwehr	Besondere Gewichtung definierter Schäden oder Haltungen unter Berücksichtigung der Randbedingungen (z.B. in Wasserschutzgebieten)	Festlegen des zu bewertenden baulichen Sanierungsumfanges, z.B. Schadensmerkmale, Schadensklassen oder Zustandsklasse der Haltung
Fremdwasserreduktion	Besondere Priorität auf Beseitigung von Infiltrationen	Festlegen der Kriterien zur Bestimmung von vordringlichen Haltungen
Betriebs-, Stand- oder Funktionssicherheit	Besondere Priorität auf Betriebs-, Stand- oder Funktionssicherheit (z.B. Beseitigung aller Hindernisse und Querschnittsverengungen)	Definition der Schadensmerkmale
Hydraulische Sanierung – Überstausicherheit	Gewährleistung von Überstausicherheit	Festlegen der Sicherheitsanforderungen (siehe hydraulische Sanierung)
Hydraulische Sanierung – Überflutungsschutz	Gewährleistung von Überflutungssicherheit, insbesondere bei flachen und seichten Netzen	Festlegen der Sicherheitsanforderungen (siehe Überflutungsnachweise)
Zustand der Anschlusskanäle	Berücksichtigung des Zustandes der Anschlusskanäle / gleichzeitige Sanierung öffentliches Kanalnetz - Anschlusskanäle	Festlegen von Gebieten, Kriterien und Anforderungen (siehe Anschlusskanäle)
Berücksichtigung weiterer Spartenbetreiber	Koordinierung mit weiteren Beteiligten, Nutzung von monetären und nichtmonetären Synergieeffekten	Festlegung der Gebiete, Kriterien und Anforderungen (siehe Mehrspartenstrategie)
Berücksichtigung der Dichtheit	Einbeziehen der optisch nicht feststellbaren Undichtheiten in die GSP	Festlegung der Anforderungen zur Bewertung der Dichtheit und deren Auswirkungen auf die GSP

Aus den Sanierungszielen der Entwässerungsbetriebe leiten sich in der Regel die Sanierungsstrategien ab. Bei einer Strategieentwicklung werden die verschiedenen Ziele des Betriebes geprüft und festgelegt, wobei zwischen **„Muss-Zielen“** und **„Kann-Zielen“** unterschieden wird. Rechtliche und technische Ziele sowie Ziele des Umweltschutzes **müssen** aufgrund gesetzlicher Regelungen

<sup>262</sup> aus Milojevic et al. (2005b), S. 22

erfüllt werden, betriebswirtschaftliche Ziele, wie z.B. Substanzwerterhalt oder die Verstetigung von Gebühren **sollen** erfüllt werden.<sup>263</sup>

**Tabelle 4-03:** Relevante Ziele für Sanierungsstrategien<sup>264</sup>

Art	Ziel	Beschreibung
Muss-Ziele	Rechtliche und technische Ziele	Abwasserbeseitigungspflicht der Gemeinde, gesetzliche Vorgaben für ordnungsgemäßen Bau und Betrieb der Abwasseranlage, Einhalten der Auflagen
	Umweltrelevante Ziele	Einhalten der Anforderungen an den Umweltschutz (Schutz der Gewässer und Umwelt)
	Funktions- und Betriebssicherheit	Sicherstellen einer funktionierenden Anlage und störungsfreier Betrieb
Kann-Ziele	Zusätzliche Ziele des Netzbetreibers	z.B. vordringliche Fremdwassersanierung, Erreichen eines bestimmten Zustandes, Steigerung des Substanzwertes, Netzausbau usw.
	Substanzwerterhalt	Das Entwässerungsnetz soll in mindestens so gutem Zustand an die kommende Generation übergeben werden, wie es übernommen wurde (Erhalt der materiellen Substanz)
	Nachhaltigkeit	Pflege und Entwicklung des Netzes, so dass die vorgesehene Nutzungsdauer erreicht wird
	Verstetigung	Allgemeine Verstetigung der Investitionen zur vorausschauenden Planung, insbesondere in den Teilzielen Abwassergebührenentwicklung, Kapitalbedarf (Liquiditätsmanagement), Bauinvestitionen (Arbeitspolitik), Personalbedarf

#### 4.2.4 Ganzheitlicher Lösungsansatz

Die Einhaltung der Ziele nach DIN EN 752:2008 (*siehe Kapitel 4.2.1*), insbesondere in Bezug auf den Umweltschutz, fällt zunehmend schwer, wenn man bedenkt, dass es stellenweise einen erheblichen Sanierungsstau und im Gesamtsystem einen enormen Sanierungsbedarf gibt. Dies führt bei zahlreichen Haltungen zwangsläufig zum Einsatz korrektiver Sanierungsmaßnahmen, was den Grundsätzen des Umweltschutzes widerspricht. Demnach muss die Verunreinigung des Bodens, z.B. durch Exfiltration gewerblicher Abwässer zwingend vermieden werden.

Der ganzheitliche Lösungsansatz verbindet sowohl hydraulische, umweltrelevante, betriebswirtschaftliche, betriebliche und bauliche Lösungen. Der Ansatz zielt auf das Umdenken von eindimensionaler zur ganzheitlichen, sämtliche Vorgaben und Ziele eines Entwässerungsbetriebes beachtenden Vorgehensweise.

Die vom Entwässerungsbetrieb gewählte Lösung soll nach Möglichkeit geeignet sein, Zusammenhänge im System zu erkennen und so miteinander zu verknüpfen, dass mehrere auftretende Prob-

<sup>263</sup> Vgl. a. a. O., S. 59 f.

<sup>264</sup> aus a. a. O., S. 59



leme gemeinsam bearbeitet und bewältigt werden können. Dies könnte z.B. die Erneuerung eines Rohres sein, die zum einen ein bauliches Problem und zum anderen ein hydraulisches Problem an einer benachbarten Haltung lösen kann. Im nachfolgenden werden verschiedene Lösungsoptionen beschrieben:<sup>265</sup>

### Hydraulische Lösungen

Dieser Ansatz beschäftigt sich unter anderem mit der „*Maximierung der verfügbaren Abflusskapazität*“ durch Reinigung, Beseitigung von Abflusshindernissen und Verringerung der hydraulischen Rauheit der Rohrleitung. Die „*Steuerung der Abflusströme*“ mit dem Ziel der Verringerung des Zuflusses in die Kanalisation stellt einen weiteren Lösungsansatz dar. Die Steuerung der Abflusströme kann durch Überleitung von Regenwasser in Versickerungssysteme, Verwendung durchlässiger Oberflächenbefestigungen, Überleitung von Abflüssen in ein anderes System, Rückhaltung von Niederschlagswasser auf der Oberfläche und Verminderung der Infiltration und des Fremdwasserzuflusses umgesetzt werden.

Weitere hydraulische Lösungen sind die „*Vergrößerung der Abflusskapazität der Kanalisation*“ durch Erneuerungsmaßnahmen mit größeren Rohrquerschnitten, den Bau zusätzlicher Leitungen und Renovierung bestehender Kanäle sowie die „*Dämpfung des Spitzenabflusses*“. Durch die Nutzung bestehender Rückhaltebecken und Bereitstellung zusätzlicher Rückhalteräume findet eine gezielte Abflusssteuerung statt.

### Umweltrelevante Lösungen

Die umweltrelevanten Ansätze befassen sich mit der „*Verringerung der Schadstoffeinträge in das Entwässerungssystem*“ und mit der „*Verminderung der vorgesehenen Schadstoffeinleitungen in den Vorfluter*“. Lösungen für diese Ansätze sind z.B. Absetzbecken und Sandfanganlagen, Einleitungskontrollen (gewerbliches Abwasser) sowie Vergrößerung des Zuflusses zur Abwasserbehandlung und Behandlung von Niederschlagswasser.

Die „*Verminderung der Exfiltration durch Sanierungsmaßnahmen*“ ist ein weiterer Ansatz zum Umweltschutz. Durch Reparatur, Renovierung oder Erneuerung der Leitung durch offene oder geschlossene Bauweise muss die bestgeeignete Sanierungstechnik für den jeweiligen Schadensfall gefunden werden.

### Betriebliche Lösungen

Die betrieblichen Lösungen beschränken sich auf geplante „*Inspektions- und Reinigungsmaßnahmen*“ von Abwasserleitungen und -kanälen sowie die „*Erhöhung der Wartungshäufigkeit von Pumpen*“ und Pumpstationen.

---

<sup>265</sup> Vgl. E DIN EN 14654-2 (2011), S. 13 f.

## Betriebswirtschaftliche Lösungen

Die betriebswirtschaftlichen Lösungsansätze beschäftigen sich in erster Linie mit der „*Verstetigung*“ der Abwassergebühren und dem „*Substanzwerterhalt*“ des Entwässerungsnetzes. Es muss mindestens der Werterhalt durch Sanierungsmaßnahmen erreicht werden, um den nachfolgenden Generationen die Nutzung und Finanzierung eines funktionsfähigen Entwässerungsnetzes zu gewährleisten.

## Bauliche Lösungen

Die baulichen Ansätze widmen sich dem „*Schutz der Kanalsubstanz durch geeignete Auskleidungen oder Innenbeschichtungen*“ und der „*Sanierung der Rohrleitungssubstanz*“ durch Reparatur, Renovierung oder Erneuerung.

### 4.2.5 Integrales Kanalmanagement<sup>266</sup>

Nach DIN EN 752:2008 stellt das integrale Kanalmanagement ein „koordiniertes Management von Planung, Bemessung, Bau, Sanierung, Betrieb und Unterhalt aller Systeme aus Abwasserleitungen und -kanälen in einem Einzugsgebiet unter Berücksichtigung ihrer sämtlichen Leistungsaspekte“ dar. Es handelt sich hierbei um einen Prozess zur Untersuchung des Entwässerungssystems mit anschließender Entwicklung von Strategien. Dadurch soll gewährleistet werden, dass die hydraulische, umweltrelevante, bauliche und betriebliche Leistungsfähigkeit unter Berücksichtigung der zukünftigen Bedingungen (Nachhaltigkeit) und wirtschaftlichen Effizienz den festgelegten Leistungsanforderungen entspricht.

„Das integrale Kanalmanagement beinhaltet 4 grundlegende Aktivitäten:

- Untersuchung aller Leistungsaspekte des Entwässerungssystems in angemessenem Umfang;
- Beurteilung der Leistung durch Vergleich mit den Leistungsanforderungen einschließlich des Erkennens von Ursachen für Leistungsversagen;
- Entwicklung des Plans der durchzuführenden Maßnahmen;
- Umsetzung des Plans.“

### Untersuchung<sup>267</sup>

Zu Beginn der Untersuchung werden alle verfügbaren relevanten Informationen und insbesondere die Informationen zur Leistungsfähigkeit des Entwässerungssystems erfasst und überprüft. Es folgt die hydraulische Untersuchung, um Klarheit über die im Entwässerungssystem vorherrschenden

---

<sup>266</sup> Vgl. DIN EN 752 (2008), S. 8 und S. 23 f.

<sup>267</sup> Vgl. a. a. O., S. 24-29

hydraulischen Verhältnisse zu bekommen. Hierzu sind oftmals Prüfungen und Inspektionen zur ausreichenden Bestimmung der Abflüsse notwendig.

Im Rahmen der umweltrelevanten Untersuchung werden insbesondere die Lage der Einleitungsstellen für gewerbliches Abwasser und verunreinigtes Niederschlagswasser erfasst, um das Gefährdungspotential zu bestimmen. Weitere umweltrelevante Aspekte wie Lärm, Geruch und optische Beeinträchtigungen sowie potentielle Bodenverunreinigungen sollen ebenfalls berücksichtigt werden.

Die bauliche Untersuchung beschäftigt sich in erster Linie mit dem Zustand der Kanalisation, der durch indirekte Inspektion (z.B. Kanalfernsehen) festgestellt wird. Die Aufzeichnungen sollen z.B. unzulässige Rissbildungen, Verformungen, schadhafte Anschlüsse, Setzungen usw. enthalten. Die Ergebnisse der baulichen Untersuchungen können auch Relevanz in Bezug auf die hydraulischen und umweltrelevanten Untersuchungen haben.

Die betriebliche Untersuchung beinhaltet die Angabe und Aufzeichnung bestehender betrieblicher Abläufe, Inspektions- und Unterhaltspläne. Die Häufigkeit und Lage von aufgezeichneten betrieblichen Störfällen (z.B. Verstopfungen, Ausfall der Pumpstation usw.) sind hierbei zu überprüfen. Aus den Berichten über die Störfälle können Einflüsse der betrieblichen Probleme auf die hydraulische, umweltrelevante und bauliche Leistungsfähigkeit des Systems geschlossen werden. Konkret untersucht werden die wesentlichen wiederkehrenden betrieblichen Störfälle.

### **Beurteilung<sup>268</sup>**

Die Untersuchung liefert Ergebnisse über die Leistungsfähigkeit des Systems, die anhand der Leistungsanforderungen im nächsten Schritt beurteilt werden muss. Neben der Beurteilung der hydraulischen Leistungsfähigkeit betrifft dies die Beurteilung der Auswirkungen auf die Umwelt sowie die Beurteilung des baulichen Zustands und der betrieblichen Mängel. Beim Vergleich mit den Leistungsanforderungen sollen die Ergebnisse der Beurteilung der hydraulischen, umweltrelevanten, baulichen und betrieblichen Leistungsfähigkeit zusammengefasst werden, um die Gesamtleistung des Systems mit den Leistungsanforderungen vergleichen zu können.

Erfüllen die hydraulische, umweltrelevante, bauliche und betriebliche Leistungsfähigkeit nicht die Leistungsanforderungen des Systems, so müssen die Ursachen für diese mangelhafte Leistungsfähigkeit ermittelt werden. „Die Auswirkung jeder Ursache sollte beurteilt werden, um geeignete Lösungen zu erarbeiten und die Prioritäten der Maßnahmen festzulegen.“

### **Entwicklung des Plans<sup>269</sup>**

Liegen die Ergebnisse der Beurteilung vor, so können im nächsten Schritt integrale Lösungen entwickelt und in einem Maßnahmenplan festgesetzt werden. Die zu entwickelnden integralen Lösun-

---

<sup>268</sup> Vgl. a. a. O., S. 30 f.

<sup>269</sup> Vgl. a. a. O., S. 31-37

gen müssen die Leistungsanforderungen unter Berücksichtigung zukünftiger Bedingungen erfüllen (Erläuterungen zu den integralen Lösungsansätzen *siehe Kapitel 4.2.4*).

Die möglichen hydraulischen, umweltrelevanten, baulichen und betrieblichen Lösungsansätze müssen beurteilt werden, wobei die optimale Lösung unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Leistungsanforderungen (*siehe Kapitel 4.2.2*) und weiterer Aspekte, wie im Folgenden beschrieben, auszuwählen ist.

- **Sicherheits- und Gesundheitsrisiken** sind während des Baus und des nachfolgenden Betriebs auf ein Minimum zu beschränken.
- Die **Störung der Anwohner und der Öffentlichkeit** durch Verkehrsbehinderungen, Staub, Lärm und andere Störquellen ist zu beachten.
- Die **Verwendung von Energie und sonstiger begrenzter Ressourcen** bei Bau und Betrieb des Entwässerungssystems muss berücksichtigt werden. Die Möglichkeit der Wiederverwertung der bei der Sanierung eingesetzten Werkstoffe sowie der entstehenden Abfälle ist zu berücksichtigen.
- Es ist zu prüfen, ob sich die Lösung in mehrere **Bauphasen** aufteilen lässt. Dabei sind die mit den verschiedenen Phasen erzielbaren Nutzen, die Prioritäten der einzelnen Arbeiten sowie die Kosteneinsparungen durch Verschiebung auf einen späteren Zeitpunkt zu berücksichtigen.
- Die Vorteile der **Koordinierung** der Arbeiten mit anderen Infrastrukturmaßnahmen sind zu beachten.
- Die **Beschränkung der Ressourcen** (z.B. Personal, Beschaffung und Finanzen) sollte bei der Auswahl und dem Umsetzungszeitpunkt der Lösungen berücksichtigt werden.
- Die **Belastungen aus zukünftigem Unterhalt** sollten berücksichtigt werden. Diese Belastungen umfassen die zukünftigen Betriebs- und Unterhaltskosten des Systems und die umweltrelevanten Auswirkungen der Entsorgung der Rückstände aus dem Unterhalt.
- Die Kosten und der Nutzen von Lösungen (**wirtschaftliche Beurteilung**) sind zu berücksichtigen. Ein zusätzlicher Nutzen ist oftmals mit erhöhten Kosten verbunden. Es gilt festzustellen, ob ein zusätzlicher Nutzen, wie z.B. eine erhöhte Nutzungsdauer, bei gleichzeitig erhöhten Kosten die Umsetzung einer Lösung gegenüber einer anderen auch tatsächlich rechtfertigt.
- Die **Gesamtnutzungskosten**<sup>270</sup> müssen zusammen mit den indirekten Kosten<sup>271</sup> berücksichtigt werden. Die Gesamtnutzungskosten enthalten außerdem die Kosten provisorischer Maßnahmen, Umlegungskosten anderer Ver- und Entsorgungsleitungen und Planungs- und Untersuchungskosten sowie Betriebskosten.

---

<sup>270</sup> Die „Gesamtnutzungskosten“ werden in diesem Kontext als Gesamtkosten der Lösungen über die Nutzungsdauer verstanden.

<sup>271</sup> z.B. Kosten für die Störung der Öffentlichkeit (siehe auch *Kapitel 4.4.2* – ökonomische Kriterien)

„Die gewählte integrale Lösung muss in einem Plan über das Entwässerungssystem festgeschrieben werden. Dieser Plan sollte enthalten:

- detaillierte Ziele;
- gesetzliche Anforderungen oder Erlaubnisse einschließlich aller Sanierungsfristen;
- Leistungsanforderungen;
- Prioritäten;
- vorgesehene Maßnahmen einschließlich Kosten und Bauphasen;
- Koordinierung mit anderen Baumaßnahmen oder geplanten Erschließungen;
- Auswirkungen auf Betrieb und Unterhalt.“<sup>272</sup>

Vier Arten von Plänen können entwickelt werden.<sup>273</sup>

- a) Der Plan zur **neuen Siedlungsentwicklung** liefert Informationen über die Entwässerung der geplanten neuen Entwicklungen. Sind wesentliche Siedlungsentwicklungen im Einzugsgebiet vorgesehen, sollte ein Plan mit folgenden Angaben erstellt werden:
  - Entwässerung des Schmutz- und Regenwasseranfalls durch Erweiterung eines bestehenden Entwässerungssystems oder über ein unabhängiges System oder Einsatz eines Versickerungssystems bei Niederschlagswasser;
  - Beschreibung der Ausbauarbeiten bei vorgesehener Erweiterung am bestehenden Entwässerungssystem zur Aufnahme der zusätzlichen Zuflüsse im Sanierungsplan;
  - Überblick über die Kanalisation, die für die Entwässerung der neuen Siedlungsentwicklung verwendet wird.
- b) Der **Sanierungsplan** liefert Informationen über vorgesehene Sanierungsmaßnahmen. Die möglichen Lösungsansätze können hydraulische, umweltrelevante, bauliche und betriebliche Aspekte betreffen. „Die notwendigen Sanierungsmaßnahmen am bestehenden System zur Erfüllung der Leistungsanforderungen sollten in einem Sanierungsplan enthalten sein. Dieser sollte Folgendes enthalten:
  - Einzelheiten über die notwendigen Sanierungsmaßnahmen;
  - andere Möglichkeiten zur Sanierung des Systems;
  - sämtliche vorgesehenen Arbeitsphasen;
  - ob die Punkte 1 bis 3 abhängig sind von neuen Entwicklungen.“
- c) Der **Betriebsplan** beschreibt Inspektionsablaufpläne, Betriebsabläufe sowie Notfallpläne. Er zeigt für ein bestimmtes Entwässerungssystem die Vorgehensweise im allgemeinen Betrieb (in Bezug auf Inspektionsvorgaben, Betriebsanleitungen für die einzelnen Systemteile, Stör- und Notfallpläne) auf.

<sup>272</sup> Vgl. DIN EN 752 (2008), S. 36

<sup>273</sup> Vgl. a. a. O., S. 36 f.

d) Der **Unterhaltsplan** liefert Einzelheiten zu Unterhaltsstrategien und Abläufen für jedes Teil des Systems. Der Unterhaltsplan muss Folgendes enthalten:

- Risikoabschätzung zur Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeit von Störfällen und deren Auswirkungen,
- Art der Unterhaltsstrategie und die Anforderungen an die Überwachung sowie deren Häufigkeit; als Strategie für den Unterhalt von Entwässerungssystemen kann eingesetzt werden:
  - der vorausschauend geplante Unterhalt zur Behebung von Schäden und Problemen, die bei der Inspektion erkannt wurden (erforderlich, wenn erhebliche Schadensfolgen zu befürchten sind oder wenn dem Auftreten von Schäden vorzubeugen ist);
  - die ereignisabhängige Reaktion (Krisenreaktion), die sich mit Störungen und Problemen befasst, sobald diese eingetreten und erkannt wurden (geeignet für Teile des Systems, die mit geringem oder keinem Unterhalt betriebsfähig sind).

### **Umsetzung**<sup>274</sup>

Nach Entwicklung des Maßnahmenplans sollen diese Maßnahmen durchgeführt und die Leistungsfähigkeit des Systems überwacht werden. Diese Überwachung bezieht sich sowohl auf die Kontrolle der Wirksamkeit der Lösungen als auch auf die Dokumentation der Maßnahmen und die Aktualisierung des Plans. Die Leistungsanforderungen sollen abschließend in regelmäßigen Abständen überprüft werden, so dass die Pläne auf dem aktuellen Stand sind.

#### **4.2.6 Zwischenfazit**

Die Analyse der Grundlagen, Ziele und Ansätze im Kanalmanagement nach Literatur zeigt, dass die Sanierungsplanung als Bestandteil des Kanalmanagements in nicht ausreichendem Maß beschrieben und erläutert wird, um eine aus Sicht des Entwässerungsbetriebes wirtschaftliche und nachhaltige Sanierung durchführen zu können.

Sowohl der Aspekt der „Ganzheitlichkeit“ in Bezug auf „integrale Lösungen“ unter technischen, umweltrelevanten, baulichen und betrieblichen Gesichtspunkten als auch die Wahl der in der Sanierungsplanung auf Haltungsebene letztendlich durchzuführenden baulichen Sanierungsmaßnahmen werden lediglich grundsätzlich erwähnt. Es fehlen weiterführende Informationen, als Handlungsanweisungen für Kommunen, um eine Sanierung des Entwässerungssystems vornehmen zu können, die die einfließenden Investitionen in nachhaltigem Substanzwerterhalt des Netzes und allgemein zur Erreichung der Sanierungsziele erkennen lassen.

Geht es um die Wahl des bestgeeigneten Sanierungsverfahren bei einem oder mehrerer Schäden in einer Haltung, so wird über die vorhandene Normung lediglich ein Entscheidungsprozess zur Festlegung der geeigneten Sanierungsart, ob Reparatur, Renovierung oder Erneuerung gegeben

---

<sup>274</sup> Vgl. a. a. O., S. 37 f.

(siehe Kapitel 4.4.3). Wie die Wahl eines konkreten Sanierungsverfahrens ablaufen könnte, wird nicht beschrieben.

Bei Betrachtung möglicher Strategieansätze wird in der vorhandenen Normung und Literatur zwar von „ganzheitlichen Ansätzen“ und „integralen Lösungen“ gesprochen, es wird allerdings kein Bezug von Strategieansätzen auf die konkrete Sanierungsplanung hergestellt. Weder Korrelationen der Grundstrategien untereinander noch der Zusammenhang und mögliche Auswirkungen gewählter Grundstrategien auf die Entscheidungskriterien zur Wahl geeigneter Sanierungsverfahren auf Haltungsebene werden aufgezeigt.

An diesen Punkten setzt die vorliegende Arbeit im Folgenden mit der Zielsetzung an, erstens Strategieansätze in die gesamten Überlegungen im Rahmen der Sanierungsplanung zu integrieren und zweitens, ausgehend von den Strategieansätzen, das bestgeeignete Sanierungsverfahren bei schadhaften Kanälen auf Haltungsebene zu bestimmen. Hierzu wird in den beiden folgenden Kapiteln eine Betrachtung der in der Sanierungsplanung relevanten Kriterien auf Netzebene (Kapitel 4.3) und Haltungsebene (Kapitel 4.4) durchgeführt.

### 4.3 Multikriterielle Betrachtung der Sanierungsplanung auf Netzebene

#### 4.3.1 Strategiebetrachtung auf Netzebene eines Entwässerungssystems

Wie in Kapitel 4.1.1 ausgeführt wird die Betrachtung des gesamten Entwässerungsnetzes einer Kommune im Rahmen dieser Arbeit als Netzebene oder auch Metaebene verstanden. Von den Kommunen wird zur Sanierung ihres Entwässerungsnetzes eine ganzheitliche Kanalsanierung gefordert. Unter Berücksichtigung der Randbedingungen eines Netzes und der jeweiligen Sanierungsziele der Netzbetreiber sind im Zusammenhang der ganzheitlichen Kanalsanierung bereits auf der übergeordneten Netzebene mehrschichtige Aufgaben zu definieren und zu lösen, wie z.B. der Erhalt des Substanzwertes, die Realisierung von Synergieeffekten mit anderen Infrastrukturlastträgern oder die Vermeidung von Verkehrsbehinderungen. Diesen Ansprüchen kann man durch Festlegung einer Strategie zur Umsetzung der Sanierung genügen.

Was bisher praktiziert wird, sind zum einen Generalentwässerungspläne (GEP) und zum anderen Abwasserbeseitigungskonzepte (ABK). Das **Abwasserbeseitigungskonzept** ist eine grobe, allgemeine und hauptsächlich textgebundene Übersicht über den Stand und die Entwicklungsmöglichkeiten der Abwasserbeseitigung einer Kommune. Ein Konzept wird in der Regel alle fünf Jahre für das Einzugsgebiet einer Kläranlage erstellt. Das Abwasserbeseitigungskonzept enthält einen Übersichtsplan über den Bestand an Abwasserbeseitigungs- und Abwasserreinigungsanlagen. Des Weiteren enthält es eine Übersicht, die neben der Aufzählung geplanter Projekte auch deren geschätzte Kosten und einen Balkenplan über die zeitliche Abfolge enthält. Die Kommunen können das Abwasserbeseitigungskonzept der obersten Wasserbehörde zur Überprüfung vorlegen, müssen dies aber nicht.

Der **Generalentwässerungsplan** wird etwa alle 20 Jahre aufgestellt und enthält sehr detaillierte Informationen zu den geplanten Projekten der Abwasserbeseitigung. Je nach Planungsstand zäh-

len hierunter Entwurfs-, Genehmigungs- und Ausführungspläne, Kostenanschläge oder Kosten-schätzungen sowie ein sehr genauer Zeit- und Finanzierungsplan.

Während das Abwasserbeseitigungskonzept eine sehr grobe Übersicht darstellt, enthält der Generalentwässerungsplan alle Angaben und Informationen, die notwendig sind, um die Abwasserentsorgung für einen Zeitraum von ca. 20 Jahren zu gewährleisten. Der Generalentwässerungsplan ist daher auch wesentlich umfangreicher als das Abwasserbeseitigungskonzept. Eine rechtliche Verpflichtung zur Aufstellung eines Generalentwässerungsplanes besteht nicht, allerdings müssen die Gebietskörperschaften der Struktur- und Genehmigungsdirektion auf Verlangen ein Entwässerungskonzept vorlegen. Meist reicht hierzu eine grobe Übersicht, wie das Abwasserbeseitigungskonzept, aus.<sup>275</sup>

Zur Planung und Konzeption einer Sanierungsstrategie werden nach dem DWA Merkblatt 143-14 sechs „Grundstrategien“ genannt. Neben den überwiegend bekannten Ansätzen der Substanzwert- und Mehrspartenstrategie sind dies darüber hinaus die Zustandsstrategie, die gebietsbezogene Strategie und die funktionsbezogene Strategie. Die „Feuerwehrstrategie“ darf nicht als „Strategie“ gelten. Sie widerspricht den Grundsätzen einer ordnungsgemäßen Planung zur Vermeidung von Umweltverschmutzung, dem Erhalt des Substanzwerts und der Verfügbarkeit; sie muss vielmehr als Ansatz zur Durchführung von Maßnahmen der Gefahrenabwehr verstanden werden (ausführliche Erläuterungen siehe *Kapitel 4.3.2*).

Die Entscheidungskriterien auf Netzebene zielen auf eine ganzheitliche Betrachtung des Kanalnetzes. „Aufgrund der sehr langen Nutzungsdauer wichtiger Komponenten konventioneller Abwasserinfrastruktursysteme (Kanäle bis zu 100 Jahre), verbunden mit hohen Investitions- und Unterhaltungskosten, sind weit vorausschauende Planungen und die langfristige Berücksichtigung aller sich verändernden **Umfeldbedingungen** notwendig.“<sup>276</sup> Hierzu zählen der *demografische Wandel*, *Trinkwasserverbrauch*, *Klimawandel* und der *rechtliche Rahmen*, welche u.a. durch Veränderung von Siedlungsstrukturen, Siedlungsdichte, Alterung der Bevölkerung, wassersparende Technologien und die Zunahme von Wetterextremen entscheidenden Einfluss auf die zukünftige Abwasserinfrastruktur haben.<sup>277</sup>

Diese langfristigen Entwicklungen sollten mit in die Sanierungsplanung einfließen. Durch die Erarbeitung von Sanierungsstrategien können solche langfristigen Entwicklungen berücksichtigt werden. Jedoch werden auch durch die Wahl der Sanierungsstrategie selbst weitere Entscheidungskriterien erzeugt, die Einfluss auf die Wahl des Sanierungsverfahrens auf der Haltungsebene haben. Dies können wirtschaftliche, technische und zeitliche Kriterien sein, die z.B. durch das Zusammenfassen von Arbeiten mit anderen Sparten, wie bei der Mehrspartenstrategie, zum Tragen kommen.

---

<sup>275</sup> Vgl. Herrig (2011), S. 17

<sup>276</sup> Vgl. UBA (2010), S. 1

<sup>277</sup> ebenda



### 4.3.2 Grundstrategien der Sanierung

#### Feuerwehrstrategie

„Die Feuerwehrstrategie stellt eine unplanmäßige, ereignisorientierte Handlungsweise dar, die lediglich beim (teilweisen) Versagen des Systems durchgeführt wird. Die ‚Feuerwehrstrategie‘ wird deshalb nicht als strategisches Handeln oder Strategie [...] angesehen. Vielmehr handelt es sich hierbei um die Vernachlässigung der Pflichten zum ordnungsgemäßen Kanalnetzbetrieb und zur Netzerhaltung.“<sup>278</sup> Nach DWA-M 143-14:2005 wird das „Versagen des Systems“ im baulichen und/oder betrieblichen Sinne verstanden.<sup>279</sup>

Durch die korrektive Vorgehensweise widerspricht die „Feuerwehrstrategie“ den Grundsätzen einer strategischen, nachhaltigen Sanierungsplanung zur Vermeidung von Umweltverschmutzung, zum Erhalt des Substanzwerts und zur Verfügbarkeit der Anlagen. Dennoch muss die „Feuerwehrstrategie“ als korrektive Maßnahme zur Gefahrenabwehr bei kurzfristig eintretenden Schäden an der Kanalisation vorgesehen werden.

#### Funktionsbezogene Strategie

„Eine funktionsbezogene Strategie bewirkt eine grundsätzliche Änderung des Aufbaus [von Teilen oder der Gesamtheit] des Entwässerungssystems, die durch eine wesentliche Änderung der Randbedingungen hervorgerufen wird. Sie beinhaltet in der Regel eine Umorientierung von Teilnetzen eines Entwässerungssystems oder eine Änderung des Entwässerungskonzeptes. Die funktionsbezogene Strategie wird angewendet, wenn eine Sanierung aus folgenden Gründen erforderlich ist:

- Erhebliche Anpassungen an Emissions- oder/und Immissionsanforderungen bezüglich ins Gewässer entlasteter Schmutzfrachten und Wassermengen (z.B. durch Umwandeln eines Mischsystems in ein Trennsystem oder umgekehrt, Umorientieren der Entwässerungsrichtung, Wegfall von Regenentlastungsanlagen).
- Anpassung der Sicherheitsanforderungen bezüglich Überstau- und Überflutungshäufigkeiten (z.B. durch eine teilweise Umorientierung der Entwässerungsrichtung).
- Änderung oder Wegfall der bisher zur Verfügung stehenden Ableitungswege (z.B. durch Umwidmung, Abkopplungen).“<sup>280</sup>

Nicht zur Anwendung sollte die funktionsbezogene Strategie bei „kleinräumigen Überlegungen“ kommen, da die Gefahr erheblicher Mehrkosten besteht. Mehrkosten können verschiedene Ursachen haben. Großräumige Strategien, wie der Umbau eines gesamten Entwässerungssystems, werden von übergeordneten Gebietskörperschaften festgelegt. „Zentrale Vorgaben“ dieser Art finden auch Einzug in die Sanierungskonzepte der Netzbetreiber einzelner Ortsnetze oder

<sup>278</sup> Vgl. Wolf (2006), Seite 16

<sup>279</sup> Vgl. DWA-M 143-14 (2005), Seite 24

<sup>280</sup> Vgl. a. a. O., Seite 25

-teilnetze.<sup>281</sup> „Gerade hier entstehen dann aber vielfach aufgrund örtlicher Rahmenbedingungen Schwierigkeiten, die bei Entwicklung der zentralen Strategie nicht auftraten oder nicht bekannt waren und zu nicht unerheblichen Mehrkosten führen können.“<sup>282</sup> Darüber hinaus werden im Zuge der verfahrenstechnischen Änderungen Anlagenteile vorzeitig außer Betrieb genommen, die ihre betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer noch nicht erreicht haben. Dies zieht einen außerplanmäßigen Abschreibungsbedarf nach sich.<sup>283</sup>

„Umso wichtiger ist es, in solchen Fällen eine Abwägung von Aufwand und wasserwirtschaftlichem Nutzen anzustellen, bevor Entscheidungen über den Umbau oder Rückbau einzelner Teilsysteme getroffen werden. Diese Abwägung ist zwischen Genehmigungsbehörde, Gebietskörperschaften und Netzbetreiber zu führen.“<sup>284</sup>

### **Gebietsbezogene Strategie**

„Bei der gebietsbezogenen Strategie stehen die Interessen des Netzbetreibers an einer **Sanierung in einem abgegrenzten Teilgebiet** im Vordergrund. Sanierungsgründe können bauliche, hydraulische oder sonstige Kriterien sein. Innerhalb eines Gebietes sollte der Netzbetreiber bemüht sein, die daraus resultierenden Maßnahmen mit Baumaßnahmen anderer Leitungsträger abzustimmen. [...] Die gebietsbezogene, ganzheitliche Sanierungsstrategie basiert auf der Bewertung aller bekannten Randbedingungen. Aus der Gewichtung der einzelnen Sanierungsziele, wie z.B. hydraulische, bauliche oder umweltrelevante Teilziele, lässt sich eine für das vorhandene Entwässerungssystem gebietsbezogene Strategie entwickeln.“<sup>285</sup>

Anwendung findet die gebietsbezogene Strategie bei Netzen, in denen eine sofortige Berücksichtigung des Gesamtsystems in der Sanierungsplanung aufgrund der Größe des Netzes oder des zu erwartenden Sanierungsaufwands nicht möglich ist. Es werden Teilgebiete gebildet, die aufgrund eines hohen Schadenspotenzials, der besonderen Häufung von Schädigungen oder besonderen umweltrelevanten Anforderungen an das Teilgebiet mit einem vordringlichen Sanierungsbedarf identifiziert werden.<sup>286</sup> Die Auswahl und Festlegung von Teilgebieten „orientiert sich an gemeinsamen Eigenschaften, wie z.B. Pumpwerkeinzugsgebiet, eine Wasserschutzzone, ein Wohn- oder Gewerbegebiet oder Straßenzüge.“<sup>287</sup>

Um geeignete Gebiete für eine gebietsorientierte Sanierung zu ermitteln, sind drei Voraussetzungen zu beachten: Die Zustandserfassung und Bewertung des Netzes, ein hydraulisches Sanierungskonzept und die zu erwartenden durchschnittlichen Meter-Kosten der Sanierung.<sup>288</sup> „Die Größe der Teilgebiete spielt bei dieser Strategie eine untergeordnete Rolle, sollte aber mindestens den

---

<sup>281</sup> Vgl. DWA-Kommentar zum DWA-M 143-14 (2007), Seite 44

<sup>282</sup> ebenda

<sup>283</sup> ebenda

<sup>284</sup> Vgl. a. a. O., Seite 45

<sup>285</sup> Vgl. DWA-Kommentar zum DWA-M 143-14 (2007), Seite 37

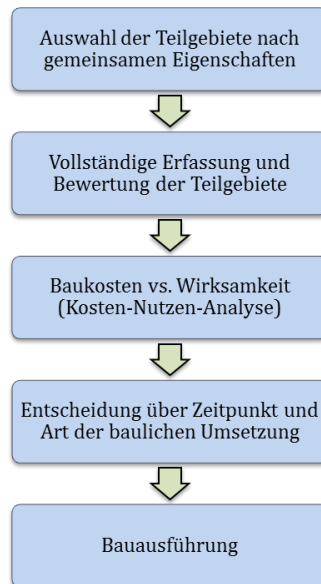
<sup>286</sup> Vgl. Milojevic et al. (2005b), Seite 68

<sup>287</sup> Vgl. DWA-M 143-14 (2005), Seite 22

<sup>288</sup> ebenda

Umfang eines zu sanierenden Straßenzuges haben. Grundsätzlich sind kleine Nebenarme des Netzes in die Gebiete zu integrieren, um mit der Sanierung eine flächige Wirkung zu erreichen."<sup>289</sup>

Der allgemeine Ablauf der gebietsbezogenen Strategie ist in *Abbildung 4-02* dargestellt:



**Abbildung 4-02:** Flussdiagramm allgemeiner Ablauf der gebietsbezogenen Strategie<sup>290</sup>

Häufig ist die Abstellung bekannter Probleme, wie z.B. Infiltration von Fremdwasser, der Auslöser für eine gebietsbezogene Strategie. Die „**Fremdwassereliminationsstrategie**“ stellt einen Sonderfall der gebietsbezogenen Strategie dar. Die durchzuführenden Maßnahmen müssen eine in allen Teilen dichte Kanalisation zum Ergebnis haben und alle Schäden (auch die nachrangigen) sind dauerhaft zu beseitigen. Neben dem öffentlichen Straßenraum sind die privaten Grundstücke zur Lösung des Problems mit einzubeziehen, was die gebietsbezogene Strategie in diesem Sonderfall besonders kapitalintensiv werden lässt.<sup>291</sup>

Gebietsorientierte Maßnahmen sind geeignet, in bestimmter Weise Transparenz herzustellen. Durch die Festlegung von Teilgebieten wird ein überschaubarer Zusammenhang der Sanierungsmaßnahmen erzeugt; die Sanierung eines Teilnetzes hat einen Anfang und ein erkennbares Ende. Durch Bildung von umfangreichen Losgrößen wird ein effizienter Finanzmitteleinsatz gewährleistet. Eine Kostenprognose kann allerdings erst nach einer Bestandsaufnahme erfolgen, da die Gebietsgröße kein hinreichendes Kriterium für den Sanierungsaufwand darstellt. Als weiteren Nachteil stellt sich der erhöhte Koordinierungs- und Abstimmungsbedarf bei Anwendung gebietsbezogener

<sup>289</sup> Vgl. DWA-Kommentar zum DWA-M 143-14 (2007), Seite 38

<sup>290</sup> Eigene Darstellung (inhaltlich vgl. DWA-Kommentar zum DWA-M 143-14 (2007), Seite 38 f.)

<sup>291</sup> Vgl. DWA-Kommentar zum DWA-M 143-14 (2007), Seite 37

Maßnahmen heraus. Durch die Konzentration auf ein definiertes Teilgebiet bleiben Defizite in anderen Netzbereichen womöglich über längere Zeiträume unberücksichtigt.<sup>292</sup>

### **Mehrspartenstrategie**

„Die Mehrspartenstrategie geht in ihrer Betrachtung über den Umfang der ausschließlichen Sanierung von Entwässerungssystemen hinaus. Sie versteht die Sanierung von Entwässerungssystemen als nur einen Teil einer infrastrukturellen Gesamtmaßnahme und versucht, die Sanierung der Entwässerungssysteme mit den erforderlichen Sanierungsmaßnahmen an den benachbarten, im Straßenkörper angeordneten Sparten räumlich und zeitlich zusammenzufassen und gemeinsam in einer Baumaßnahme auszuführen.“<sup>293</sup>

„Es wird angestrebt, definierte Bereiche im Hinblick auf die Beeinträchtigungen der Anwohner in einem Anlauf interdisziplinär komplett zu sanieren und monetäre Synergieeffekte bei der gleichzeitigen Erneuerung mehrerer Sparten zu nutzen. Neben der finanziellen Berücksichtigung sind auch „weiche“ Faktoren wie einfache Durchführbarkeit, Rücksichtnahme auf die Anwohner usw. bei der Entscheidungsfindung von Bedeutung.

Überlagerungspunkte gibt es grundsätzlich in Sanierungsabschnitten, in denen offene Erneuerungsverfahren durchgeführt werden. Es soll jedoch geprüft werden, inwieweit die im Kanalnetz geplanten Reparaturen oder Renovierungen unter Berücksichtigung einer gleichzeitigen Erneuerung anderer Sparten in Erneuerungsmaßnahmen umzuwandeln sind. Kriterium hierfür kann der Abstand der Projektkostenbarwerte des gewählten Verfahrens zur Erneuerung sein.

Die Mehrspartenstrategie ist Teil der ganzheitlichen Sanierungsplanung und grundsätzlich wünschenswert. Lokal werden damit zwar nominal Mehrkosten erzeugt, gesamtwirtschaftlich betrachtet, werden jedoch Einsparungen erzielt. [...] Sie erfordert jedoch eine intensive Abstimmung aller Beteiligten und die Bereitschaft der Spartenbetreiber, die „eigene“ Sanierungskonzeption bei Bedarf anzupassen und sowohl zeitliche Verschiebungen als auch Mehrkosten in Kauf zu nehmen.

Bei der Mehrspartenstrategie soll ein ausgewogenes Verhältnis zwischen durch die Belange der weiteren Beteiligten fremdgesteuerten und durch den Netzbetreiber selbst gesteuerten Maßnahmen angestrebt werden, damit Defizite an anderen Stellen im Netz nicht vernachlässigt werden.“<sup>294</sup> Fehlt die Einbeziehung aller Sparten bei der Sanierungsplanung, sollte diese Strategie nicht zur Anwendung kommen, ebenso bei kleineren Sanierungsmaßnahmen, die eine Reparatur oder kleinere Renovierung vorsehen.

„Im Sinne einer ganzheitlichen Sanierung soll angestrebt werden, auch die Belange weiterer im Straßenraum Beteiligter zu berücksichtigen. Mögliche Beteiligte sind:

- Straßenbaulastträger,

---

<sup>292</sup> Vgl. a. a. O., Seite 47

<sup>293</sup> Vgl. DWA-M 143-14 (2005), Seite 24

<sup>294</sup> Vgl. Milojevic et al. (2005b), Seite 69 f.

- Versorgungsunternehmen (Gas, Wasser, Strom, Fernwärme),
- Telekommunikationsunternehmen,
- Weitere Netzbetreiber (z.B. bei getrennter Verantwortung zwischen Regenwasser- und Schmutzwassernetz),
- Private Netzbetreiber.<sup>295</sup>

Bei Anwendung der Mehrspartenstrategie resultiert aus der Nutzung von Synergieeffekten ein effizienter Finanzmitteleinsatz, der zur Einsparung von Baukosten führt. Synergieeffekte entstehen durch Überlagerung von Maßnahmen der im Straßenraum Beteiligten, was die Baumaßnahme zu einer infrastrukturellen spartenübergreifenden Gesamtmaßnahme werden lässt und zu einer verbesserten Akzeptanz in der Öffentlichkeit führt. Allerdings erfordert dies einen erhöhten Koordinierungs- und Abstimmungsbedarf und durch die Kooperation mit den anderen Beteiligten läuft die Durchführung der Maßnahmen nicht mehr ausschließlich selbstbestimmt ab; teilweise wird durch die Überlagerung der Maßnahmen je nach Planung ein vorzeitiger Mitteleinsatz erforderlich.<sup>296</sup>

### Substanzwertstrategie

Die Substanzwertstrategie hat als oberste Priorität den Erhalt des Substanzwertes. Sie ist darauf ausgerichtet, den Substanzverzehr auf Netzebene zu kontrollieren und durch Budgetierung von Sanierungsinvestitionen zu steuern. Die beiden wesentlichen Sanierungsziele sind die Verstetigung der Sanierungsaufgaben und des jährlichen Finanzbedarfs sowie die langfristige Erhaltung der Funktionsfähigkeit. „Im Ergebnis wird also eine hohe Planungssicherheit im Hinblick auf die langfristige Entwicklung des Netzzustandes und der Sanierungsausgaben angestrebt.“<sup>297</sup>

„Der Substanzwert stellt den materiellen Wert eines Wirtschaftsgutes, eines Kanalnetzes oder einer Haltung unter Berücksichtigung seines Alters sowie ggf. vorhandener Mängel dar. [...] Der Substanzverzehr ergibt sich als Differenz des aktuellen Substanzwertes und des Wiederbeschaffungswerts. Einflussgrößen für den Substanzwert sowie auf dessen Verlauf sind:

- Schäden in einer Haltung und damit verbundener ggf. wiederkehrender Sanierungsaufwand,
- haltungsbezogene Restnutzungsdauer im Verhältnis zur mittleren Nutzungsdauer gleichartiger Haltungen und
- zukünftig geplante Sanierungen und deren Einfluss auf den Substanzwert.“<sup>298</sup>

Die Substanzwertstrategie ist ein Verfahren, mit dem der Netzzustand hinsichtlich seines Substanzwertes transparent gemacht werden kann, und eignet sich für eine möglichst gleichmäßige Haushaltsbudgetierung. Da die Substanzwertstrategie keine fachbezogenen (operativen) Kompo-

<sup>295</sup> Vgl. Milojevic et al. (2005a), Seite 202

<sup>296</sup> Vgl. DWA-Kommentar zum DWA-M 143-14 (2007), Seite 47

<sup>297</sup> Vgl. DWA-M 143-14 (2005), Seite 20

<sup>298</sup> Vgl. a. a. O., Seite 19

nenen enthält, unterstützt sie nicht die „projektorientierte Budgetverwendung“<sup>299</sup> und muss demnach mit anderen Grundstrategien verknüpft werden.<sup>300</sup>

### **Zustandsstrategie**

„Bei der Zustandsstrategie wird in einem definierten Zeitraum das Kanalnetz vom Ist-Zustand über Zwischenzustände in einen definierten Soll-Zustand überführt. Die Zustandsstrategie wird angewandt, wenn wegen der verfügbaren Finanzmittel oder durch den Sanierungsumfang die Behebung aller Mängel nicht möglich ist. Dies ist üblicherweise bei flächendeckend schwer geschädigten alten und/oder großen Netzen erforderlich.

Im Einklang mit den gesetzlichen und umweltrelevanten Anforderungen wird daher der Sanierungsumfang auf schwere Schädigungen eingeschränkt, um mit dem verfügbaren Sanierungsbudget möglichst große Netzbereiche im Sinne einer Gefahrenabwehr zu erfassen. Durch die Zustandsstrategie wird eine geordnete und gleichmäßige Zustandsentwicklung möglich, die sich am Gefährdungspotenzial orientiert. Den Mehrausgaben (durch die zweite Phase der Sanierung zur Behebung der weiteren Schäden) steht der Nutzen der flächendeckenden Reduktion der Risiken gegenüber.

Voraussetzung für die Zustandsstrategie ist die Definition des Schadensumfangs. Dies kann anhand von Schadensbildern, Schadensklassen oder Sanierungsprioritäten erfolgen. Trotz eingeschränktem Sanierungsumfang sollten jedoch die Systemzusammenhänge sowie jeweils zusammenhängende Kanalstrecken bearbeitet und Überschneidungen mit Belangen weiterer Beteiligter (Mehrspartenstrategie) berücksichtigt werden.

Bei gering geschädigten sowie jungen Netzen ist diese Strategie nicht sinnvoll. Derartige Netze erfordern vergleichsweise geringe Sanierungsausgaben, die durch im Bedarfsfall leicht erhöhte und noch verträgliche Gebührensätze finanziert werden können. Ist darüber hinaus bei reduziertem Umfang nur ein geringer (heutiger) Kostensenkungseffekt vorhanden, macht ein eingeschränkter Sanierungsumfang keinen Sinn. In diesen Fällen soll die Zustandsstrategie nicht angewandt werden.“<sup>301</sup>

Durch die an den Zustandsklassen orientierte, geordnete und gleichmäßige Zustandsentwicklung verfolgt diese Strategie das Sanierungsziel einer sukzessiven Zustandsverbesserung. Der Vorteil dieser Grundstrategie wird nach dem Kommentar zum DWA-M 143-14 darin gesehen, dass unplanmäßige Sanierungsaufgaben vermieden werden und dass das gesamte Entwässerungsnetz auf einem definierten Standard gehalten werden kann. Ihr Nachteil liegt darin, dass Defizite mit geringerer Priorität im Gesamtnetz über einen längeren Zeitraum unberücksichtigt bleiben und durch

---

<sup>299</sup> Vgl. DWA-Kommentar zum DWA-M 143-14 (2007), Seite 37

<sup>300</sup> Vgl. a. a. O., Seite 47

<sup>301</sup> Vgl. Milojevic et al. (2005b), Seite 70

die wiederkehrende Bautätigkeit in einem Leitungsabschnitt Verluste von Synergieeffekten (*Mehrsparenstrategie*) möglich werden.<sup>302</sup>

### 4.3.3 Weitere häufige Strategieelemente

Die sogenannten „Strategieelemente“ stellen Aspekte dar, die nicht als Grundstrategien erfasst sind und demnach nicht unmittelbar als Kriterium auf Netzebene angesehen werden. Trotzdem haben sie einen mittelbaren Einfluss auf die gesamte Sanierungsplanung und müssen daher bei Betrachtung der Netzebene ebenfalls in die strategischen Überlegungen einbezogen werden.

#### **Fremdwasserreduzierung / Fremdwasserproblematik<sup>303</sup>**

Als Fremdwasser bezeichnet man Wasser, das durch Infiltration oder Fehllanschlüsse in Bereiche der Kanalisation gelangt, für die es nicht vorgesehen war. Fremdwasser im Entwässerungssystem stellt ein Problem dar, weil „damit ‚sauberes‘ Wasser zur Kläranlage geführt wird und diese zusätzlich hydraulisch belasten. Dies bedingt eine Vergrößerung hydraulisch bemessener Anlagenteile (Gerinne, Leitungen, Becken, Pumpen) und damit höhere Investitionskosten sowie höhere Betriebskosten (Pumpen!). Die Verdünnung ist zudem bei kommunalem Abwasser verfahrenstechnisch von Nachteil.“<sup>304</sup> Viele Kommunen haben in den vergangenen Jahren feststellen müssen, dass trotz erheblicher Investitionen zur Reduzierung und Vermeidung von Infiltrationen der Fremdwasseranteil im System nahezu gleich geblieben ist.

Dieser als „Fremdwasserproblematik“ bezeichnete Effekt lässt sich folgendermaßen erklären: Vor einer Sanierung sind die Kanäle in der Regel stellenweise sehr undicht und lassen einen erhebliche Infiltration durch Grundwasser zu. Die Kanalisation wirkt als Drainage, in der Konsequenz senkt sich der Grundwasserspiegel ab.

Nach der Sanierung öffentlicher Kanäle sind diese im Regelfall weitestgehend dicht. Hierbei wird vermieden, dass die Kanäle weiterhin als Drainage fungieren; der Grundwasserspiegel steigt wieder. Da durch den ansteigenden Grundwasserspiegel oftmals die privaten Kanäle der Grundstücksentwässerungsanlage (GEA) unter dem Grundwasserspiegel liegen, kann das anstehende Grundwasser nun über die undichten privaten Leitungen in das öffentliche Netz gelangen. Es stellt sich das typische Problem ein, trotz Abdichtung der öffentlichen Kanäle keine signifikante Reduzierung des Fremdwasseraufkommens zu erhalten.

#### **Berücksichtigung der Anschlusskanäle**

Bei Betrachtung der Fremdwasserproblematik wird deutlich, dass es sich bei den privaten und öffentlichen Entwässerungssystemen um eine untrennbare technische Funktionseinheit handelt. Um sowohl dauerhafte Rohrschäden wie Risse, Deformationen oder Korrosionserscheinungen als auch

<sup>302</sup> Vgl. DWA-Kommentar zum DWA-M 143-14 (2007), Seite 47

<sup>303</sup> In *Tabelle 4-02* wird die Fremdwasserreduktion als „spezielles Sanierungsziel“ der Entwässerungsbetriebe deklariert.

<sup>304</sup> Vgl. Schmitt (2011), S. 3-14

Exfiltration (Versickerung aus einem Entwässerungssystem in den Untergrund [DIN EN 1085:2007]) und Infiltration (ungewollter Volumenstrom durch Eintritt von Grundwasser in ein Entwässerungssystem [DIN EN 1085:2007]) zu vermeiden, ist daher eine regelmäßige Überprüfung des gesamten Entwässerungssystems notwendig.

Für die öffentliche Kanalisation ist dies durch die Verpflichtung zu regelmäßigen TV-Inspektionen nach Eigenkontrollverordnungen (EKVO) gewährleistet. Im privaten Bereich gibt es bisher (Stand 2011) allerdings lediglich in den Bundesländern Bayern und Hessen eine entsprechende EKVO. Dieser Tatbestand erschwert die Lösung des Fremdwasserproblems zusätzlich.<sup>305</sup> Im Zuge dessen werden von den Kommunen bei Befahrung von Kanälen zunehmend auch die Anschlusskanäle aufgenommen und geprüft. Je nach Wichtigkeit des Hauptkanals sanieren einige Kommunen sogar in gleicher Baumaßnahme die Anschlusskanäle zusammen mit dem Hauptkanal.

### **Sonstige Umfeldbedingungen**

Im Rahmen einer ganzheitlichen Betrachtung des Entwässerungsnetzes müssen als weitere Strategieelemente mögliche und voraussehbare Entwicklungen der „Umfeldbedingungen“ Berücksichtigung finden. Zu den Umfeldbedingungen, die auf die zukünftige Abwasserinfrastruktur einen entscheidenden Einfluss haben, sind der *demografische Wandel*, der *Trinkwasserverbrauch*, der *Klimawandel* und der *rechtliche Rahmen* zu zählen.

- *Demografischer Wandel:*

Der demografische Wandel wirkt sich, bedingt durch die Abnahme der Bevölkerung, Wanderungsbewegungen und die Alterung der Gesellschaft, auf die Funktion der Abwasserinfrastruktur aus. Bereits heute zeigen sich erste Auswirkungen, die, durch den demografischen Wandel bedingt, auf die Abwasserinfrastruktur zukommen. Durch Abwanderungen und Abnahme der Bevölkerung, insbesondere im Osten Deutschlands, kommt es zu sinkenden Gebühren-Einnahmen und dadurch zu einer weiter „angespannten“ Kostensituation.

Zudem werden die in Bezug auf die anfallenden Kapital- und Betriebskosten vergleichsweise hohen Anteile an Fixkosten auf weniger Nutzer verteilt. Dementsprechend kommt es zu einem Anstieg der auf die Nutzer bezogenen spezifischen Kosten. Außerdem kann eine starke Abnahme der Bevölkerung zu Kapazitätsanpassungen der Kanalisation führen (hydraulische Auslastung), was zu zusätzlichen Investitionen bedingt (Anpassung an die hydraulischen Erfordernisse) und zum anderen zu einer Unterschreitung der technischen und wirtschaftlichen Nutzungsdauer beiträgt, da die Kanäle noch vor Ablauf der Nutzungsdauer erneuert werden (Verlust an Substanzwert).<sup>306</sup>

Auch vom betrieblichen Standpunkt aus führt die Abnahme der Einwohnerzahl, im Verbund mit einem Rückgang des spezifischen Wasserverbrauchs, zu Problemen. Zurückgehender Trockenwetterabfluss und parallel dazu die Tendenz zu einer gleichmäßigeren Tagesgangli-

---

<sup>305</sup> Vgl. Schmitt (2012)

<sup>306</sup> Vgl. UBA (2010), S. 67



nie aufgrund ungleichförmiger Tagesrhythmen, führen in Folge der sinkenden Schleppspannung zu Ablagerungen und Verstopfungen im Kanalnetz sowie zur Bildung korrosiver Gase. Dies führt zu Geruchsbildung, zur Gefahr der Betonkorrosion sowie zu steigenden Unterhaltungskosten aufgrund zusätzlicher Spül- und Reinigungsmaßnahmen. Zudem kann sich ein unerwünschter Vorabbau auf die Abwasserbehandlung in der Kläranlage auswirken.<sup>307</sup>

Jedoch lassen sich die Auswirkungen des demografischen Wandels nicht eindeutig zuordnen, da es durch die Effekte des Klimawandels und des Rückgangs des Wasserverbrauchs zu Überlagerungen kommt. Dies führt dazu, dass diese Effekte, in Abhängigkeit der Region, sich kompensieren bzw. abschwächen oder auch gegenseitig verstärken können.<sup>308</sup>

- *Trinkwasserverbrauch:*

Wie bereits im vorhergehenden Kapitel erwähnt, führt ein Rückgang beim Trinkwasserverbrauch in Verbindung mit dem demografischen Wandel durch den zurückgehenden Trockenwetterabfluss zu Problemen in den Entwässerungsnetzen. Auch lässt sich der Rückgang des Trinkwasserverbrauchs durch stärker wassersparendes Verhalten, den Einsatz wassersparender Technologien, Rückgang des Wasserbedarfs in Industrie und Gewerbe und durch Änderung der Haushaltsgrößen hin zu Ein- und Zweipersonenhaushalten erklären.<sup>309</sup>

Problematisch wirkt sich der zurückgehende Trockenwetterabfluss vor allem in flachen Gebieten, mit in Mindestneigung verlegten Kanälen aus und ist somit stark von der Geländebeschaffenheit und der jeweiligen Bauweise abhängig.<sup>310</sup> Dabei wird „dem Fremdwasser im Kanalsystem [...] eine ausgleichende Wirkung zugesprochen. [Umgekehrt kann] die Reduzierung des Fremdwasseranteils durch Kanalsanierungsmaßnahmen [...] problemverschärfend wirken bzw. bedeutsamer sein als Rückgänge des Abwasseranfalls durch Bevölkerungs- und/oder Verbrauchsrückgang.“<sup>311</sup>

- *Klimawandel:*

Neben dem demografischen Wandel und der Abnahme des Trinkwasserbedarfs wird jedoch der Klimawandel als erheblich größere Problematik angesehen. Veränderungen in der Niederschlagsmenge sowie die Zunahme extremer Wetterereignisse, wie Starkniederschläge und länger andauernde Trockenperioden, erfordern Berücksichtigung im Entwässerungsnetz. Derzeit sind jedoch i.d.R. keine „baulichen Anpassungsmaßnahmen in Reaktion auf zunehmende Extremereignisse [...] geplant.“<sup>312</sup> Dies könnte auch daran liegen, dass derzeit noch keine ausreichenden Daten bezüglich der Entwicklung von Starkregenereignissen vor-

<sup>307</sup> Vgl. a. a. O., S. 64

<sup>308</sup> ebenda

<sup>309</sup> ebenda

<sup>310</sup> Vgl. a. a. O., S. 65

<sup>311</sup> Vgl. a. a. O., S. 59

<sup>312</sup> Vgl. a. a. O., S. 60

liegen.<sup>313</sup> Bei der Sanierungsplanung sollten deshalb aufgrund der Erkenntnisse zum klimatischen Wandel, bereits heute vorsorgliche Maßnahmen getroffen werden, um die Auswirkungen abzufangen.

#### 4.3.4 Entscheidungskriterien auf Netzebene

Die Wahl geeigneter Grundstrategien für ein Entwässerungsnetz erfolgt durch Abwägen von Kriterien, die eine Entscheidungsfindung zur Festlegung von Strategievorgaben auf Netzebene ermöglichen sollen. Für jede Grundstrategie muss ein Kriterium formuliert und zugewiesen werden. Die Entscheidungskriterien sollen hierbei eine kurze aber präzise Umschreibung der einzelnen Grundstrategie liefern. Die Entwässerungsbetriebe sind somit in der Lage, im Rahmen der Sanierungsplanung für die grundsätzliche Vorgehensweise auf Netzebene eine individuelle Wahl treffen zu können.

Im Folgenden werden den Grundstrategien die Entscheidungskriterien mit entsprechenden Erläuterungen zugewiesen:

**Tabelle 4-04:** Kriterien zur Wahl von Grundstrategien

Grundstrategien	Entscheidungskriterium	Beschreibung / Erläuterung
„Feuerwehrstrategie“	Gefahrenabwehr (Umweltschutz ist priorisiert)	Besteht die Gefahr des (teilweisen) Versagens des Entwässerungssystems?
Funktionsbezogene Strategie	Änderung der Netzstruktur (Verfahrenstechnik priorisiert)	Ist eine Umorientierung von Teilnetzen oder eine Änderung des Entwässerungskonzeptes notwendig?
Gebietsbezogene Strategie	Sanierungsnotwendigkeit in Teilgebieten	Gibt es in einem Teilgebiet bauliche, hydraulische oder sonstige Gründe für eine ganzheitliche Sanierung?
Mehrsparatenstrategie	Kostenoptimierung (wirtschaftliche Sicht ist priorisiert)	Sind Synergieeffekte mit anderen Sparten möglich?
Substanzwertstrategie	Substanzwerterhalt und Investitionsverstetigung	Soll der Erhalt des Substanzwertes verfolgt werden? Ist es notwendig, für Gebührenstabilität zu sorgen?
Zustandsstrategie	Zustandsverbesserung (technische Sicht ist priorisiert)	Behebung aller Schäden aufgrund begrenzt verfügbarer Finanzmittel oder eines enormen Sanierungsumfanges unmöglich?

Betrachtet man die Grundstrategien mit entsprechenden Entscheidungskriterien, so sollte die Substanzwertstrategie als „gesetzt“ angesehen werden; im Sinne des Generationenvertrages und einer

<sup>313</sup> Vgl. a. a. O., S. 26

stabilen Gebührensituation müssen die Inhalte der Substanzwertstrategie zwingend in einem übergeordneten Strategieansatz vertreten sein. Auch die Mehrspartenstrategie mit dem Ansatz einer Kostenoptimierung durch Überlagerung von Maßnahmen mit anderen Infrastrukturteilnehmern sollte in jede Strategieüberlegung mit eingebunden werden. Die anderen Strategien müssen im Einzelnen je nach Randbedingungen, Anforderungen und Zielen des Entwässerungsnetzes geprüft werden. Eine Sonderstellung hat, wie bereits ausführlich beschrieben, die „Feuerwehrstrategie“.

## **4.4 Multikriterielle Betrachtung der Sanierungsplanung auf Haltungsebene**

### **4.4.1 Betrachtung der Verfahrenswahl auf Haltungsebene**

Aufbauend auf der Inspektion des Entwässerungsnetzes mit daraus resultierender Zustandserfassung der Haltungen werden in der ganzheitlichen generellen Sanierungsplanung Informationen zu Lage, Dringlichkeit, Art und Kosten einzelner schadhafter Haltungen gesammelt. Im Ergebnis liefert die Zustandserfassung eine bauliche Dringlichkeitsliste, aus der die Sanierungsbedürftigkeit der einzelnen Haltungen des Entwässerungsnetzes abgeleitet werden kann.<sup>314</sup> Die Dringlichkeitsliste liefert alle Sanierungsmaßnahmen, deren zeitliche Durchführung in der Regel durch Priorisierung der Maßnahmen festgesetzt wird.

Die Wahl des bestgeeigneten Sanierungsverfahrens stellt innerhalb der Sanierungsplanung einen wichtigen Aspekt zum wirtschaftlichen, nachhaltigen Einsatz finanzieller Mittel dar. Neben technischen, hydraulischen und ökonomischen Kriterien (z.B. Schadensart, hydraulische Kapazität, direkte Kosten) spielen weitere soziale und ökologische Faktoren (z.B. Beeinträchtigungen des Personen- und Güterverkehrs, Beeinträchtigung erhaltenswerten Bewuchses, Gefährdung von Bausubstanz usw.) eine Rolle.<sup>315</sup> Es existieren demnach auch auf Haltungsebene zahlreiche Kriterien, die zur Entscheidungsfindung betrachtet werden müssen.

### **4.4.2 Entscheidungskriterien auf Haltungsebene**

Zur Sanierung von Schäden an einzelnen Haltungen stehen verschiedene Sanierungsverfahren zur Verfügung. Im Rahmen der Sanierungsplanung muss für jede sanierungsbedürftige Haltung unter Berücksichtigung aller Randbedingungen des Entwässerungsnetzes und der Sanierungsziele der Entwässerungsbetriebe neben der Festlegung der Sanierungspriorität auch ein Sanierungsverfahren zur baulichen Instandhaltung ausgewählt werden. Zur Entscheidung für oder gegen bestimmte Verfahren existieren zahlreiche Kriterien, die auf die Entscheidungsfindung einen wesentlichen Einfluss haben. Grundsätzlich lassen sich die Kriterien auf Haltungsebene in die Gruppen „verfahrenstechnische Kriterien“, „ökonomische Kriterien“ und „ökologisch-soziale Kriterien“ unterteilen. Im Folgenden werden die drei Kriteriengruppen vorgestellt.

---

<sup>314</sup> Vgl. Schmidt (2009), S. 30

<sup>315</sup> Vgl. a. a. O., S. 67

## Verfahrenstechnische Kriterien

„Die verfahrenstechnischen Kriterien beschreiben die rein technologisch/technisch bedingten Parameter. Sie geben Auskunft über die Einsetzbarkeit und die Produkteigenschaften eines Verfahrens. Als wichtige technische Kriterien sind zu nennen:“<sup>316</sup>

**Tabelle 4-05:** Verfahrenstechnische Entscheidungskriterien mit Erläuterungen<sup>317</sup>

Technische Entscheidungskriterien	Erläuterungen
Querschnittsform	Beschreibt, ob ein Verfahren bei dieser Querschnittsform des Altrohres einsetzbar ist.
Schadensart	Definiert den Einsatzbereich eines Verfahrens in Abhängigkeit der aufgetretenen Schadensbilder.
Vorhandener Rohrwerkstoff	Beschreibt, bei welchen vorhandenen Rohrwerkstoffen das Verfahren einsetzbar ist.
Nennweitenbereich	Das Kriterium gibt an, in welchem Nennweitenbereich das jeweilige Verfahren einsetzbar ist. Dabei wird vom Querschnitt des neu herzustellenden Rohres ausgegangen.
Oberflächen-inanspruchnahme	Beschreibt, wie viel Fläche für Baustelleneinrichtung, Start- und Zielgrube usw. benötigt wird.
Einfluss des Grundwassers	Gibt an, ob das Verfahren im anstehenden Grundwasser verwendet werden kann.
Einschränkung der hydraulischen Leistungsfähigkeit	Sagt aus, ob durch ein Verfahren die hydraulische Leistungsfähigkeit eingeschränkt wird oder nicht.
Nutzungsdauer	Sagt aus, welche Nutzungsdauer für den sanierten Kanal bei Anwendung eines bestimmten Verfahrens zu erwarten ist.
Haltungslänge	Sagt aus, bis zu welcher Länge das Verfahren angewendet werden kann.
Wiederherstellung der statischen Tragfähigkeit	Gibt an, ob mit Hilfe des Verfahrens die statische Tragfähigkeit wiederhergestellt werden kann.
Aufrechterhaltung des Abflusses nötig	Gibt an, ob zur Durchführung des Verfahrens Maßnahmen zur Sicherung der Vorflut nötig sind.
Bearbeitung der Zuläufe	Geht der Frage nach, ob vorhandene Zuflüsse nach der Kanalsanierung in offener Bauweise oder mittels Robotertechnik angeschlossen werden müssen.
Bögen und Abwinklungen	Dieses Kriterium gibt an, bis zu welcher Grad Zahl von Bögen/Abwinklungen das Rohr mit dem betreffenden Verfahren saniert werden kann.
Mögliche Ausführungsfehler/ Mängelbeseitigung	Beschreibt die Schwere möglicher Ausführungsfehler sowie deren Beseitigung, Fehleranfälligkeit
Qualitätssicherung	Im Zuge der immer mehr geforderten Qualitätssicherung sagt dieses Kriterium aus, ob eine Zertifizierung für Verfahren bzw. Baufirma vorliegt.

<sup>316</sup> Vgl. Plenker (2002), S. 115

<sup>317</sup> aus a. a. O., S. 115 f.

## Ökonomische Kriterien

„Die ökonomischen Kriterien beziehen sich ausschließlich auf monetäre Werte. Die Ausprägungen dieser Kriterien sind sehr projektspezifisch und lassen sich i.d.R. erst nach der Bauausführung genau beziffern. Bei der Entscheidungsfindung können daher nur Richtpreise bzw. Erfahrungswerte angesetzt werden. Grundsätzlich sind direkte und indirekte Kosten zu unterscheiden.“<sup>318</sup>

**Tabelle 4-06:** Ökonomische Entscheidungskriterien mit Erläuterungen<sup>319</sup>

Ökonomische Entscheidungskriterien	Erläuterungen
Direkte Kosten	Beziffern die geschätzten Bruttogesamtbaukosten pro Meter Haltungslänge. Diese Kosten enthalten neben den reinen Baukosten auch Verkehrssicherungskosten, Kosten zur Aufrechterhaltung der Vorflut. Kosten für Ingenieurleistungen, Bauüberwachung und Projektmanagement. Nicht zu vergessen sind die Kosten für Beweissicherungen und zu erwartenden Schadensausgleich. Kosten für Grundwasserentnahme und -einleitung, sowie zu erwartende Betriebskosten.
Indirekte Kosten	Sie geben die Kosten an, die durch verursachte Beeinträchtigungen, wie z.B. Lärm, Staub entstehen. Weiterhin enthalten sie u.a. auch den Benzinmehrverbrauch durch Umleitung oder Umsatzeinbußen durch die Baumaßnahme.

Indirekte Kosten sind demnach externe Wirkungen der Bauausführung und haben somit Einfluss auf Dritte. Diese Kosten sind monetär nicht zu beziffern und werden demnach weder bei den Planungs-, noch bei den Herstellungs- oder Nutzungskosten erfasst. Indirekte Kosten entstehen z.B. durch:

- „Verkehrsbehinderung (Reisezeitverluste)
- Beeinflussung der Anlieger (insbesondere Umsatzeinbußen des Einzelhandels und ggf. schlechte Erreichbarkeit von Gewerbebetrieben)
- Lärm- und Schadstoffemissionen durch Bau und Verkehr
- Verzehr/Versiegelung von Grünflächen und Beeinflussung der Grundwasserverhältnisse
- Verkürzung der Restnutzungsdauer von Straßenoberflächen und damit verbundener Wertminderung“<sup>320</sup>

## Ökologisch-Soziale Kriterien

„Die ökologisch-sozialen Kriterien beschreiben die Wirkung der Sanierungsverfahren auf die Schutzgüter Wasser, Boden, Flora und Fauna sowie auf den Menschen und sein gesellschaftliches Umfeld. Sie dienen hauptsächlich zur Einhaltung der geltenden Umweltschutzbestimmungen. Die

<sup>318</sup> Vgl. a. a. O., S. 116

<sup>319</sup> aus a. a. O., S. 117

<sup>320</sup> Vgl. GSTT-Information 25-1 (2011), S. 5

ökologisch-sozialen Kriterien werden allerdings aufgrund der Qualität ihrer Aussagen in der Anzahl auf ein Minimum beschränkt. Folgende ökologisch-soziale Kriterien werden zur Entscheidungsfindung ausgewählt, weitere sind im Kriterienkatalog der GSTT zu finden<sup>321</sup>.<sup>322</sup>

**Tabelle 4-07:** Ökologisch-soziale Entscheidungskriterien (mit Erläuterungen)<sup>323</sup>

Ökologisch-soziale Entscheidungskriterien	Erläuterungen
Beeinträchtigung erhaltenswerten Bewuchses	Geht der Frage nach, ob durch die Ausführung eines Verfahrens erhaltenswerter Bewuchs in Mitleidenschaft gezogen wird.
Einfluss auf Wasserqualität	Sagt aus, wie stark die Beeinträchtigung der Wasserqualität infolge des eingesetzten Verfahrens wäre.
Einfluss auf Wasserstand	Definiert die Stärke des Einflusses des Verfahrens auf den Grundwasserstand.
Bodenstrukturveränderung	Gibt an, wie groß die Eingriffe in die Bodenstruktur durch Einsatz eines Verfahrens wären.
Gefährdung von Bausubstanz	Sagt aus, ob durch die Baumaßnahme an der umliegenden Bausubstanz Schäden durch Erschütterungen und Setzungen hervorgerufen werden können.
Beeinträchtigung des Personen- und Güterverkehrs	Gibt qualitativ an, wie groß die bei der Durchführung einer Baumaßnahme in einer Straße zu erwartenden Beeinträchtigungen des Personen- und Güterverkehrs sind.
Bauzeit	Beziffert eine durchschnittliche Bauzeit pro Haltung.

#### 4.4.3 Methoden zur Wahl der besten Sanierungstechnik

Die Wahl der bestgeeigneten Sanierungstechnik erfordert die Betrachtung zahlreicher Kriterien, die in der Entscheidungsfindung eine Rolle spielen. Es gibt in der Literatur vorhandene Entscheidungshilfen, die einen Beitrag zur Vorgehensweise bei der Wahl von geeigneten Sanierungstechniken leisten. Werden diese auf Anwendbarkeit und Qualität in der Umsetzung geprüft, so muss konstatiert werden, dass nur die wenigsten eine in der Anwendung brauchbare Unterstützung liefern. Die meisten Entscheidungshilfen führen letztlich nicht zur Wahl geeigneter Sanierungsverfahren sondern beinhalten lediglich Kriterien und Aspekte, die es zu beachten gilt.

<sup>321</sup> GSTT (2009) Jahrbuch 2009/2010

<sup>322</sup> Vgl. Plenker (2002), Seite 117

<sup>323</sup> aus a. a. O., Seite 117 f.

Die wenigen Entscheidungshilfen, die die Wahl eines geeigneten Sanierungsverfahrens zulassen (siehe z.B. Plenker), sind aufgrund der eingesetzten Methodik des Bewertungsverfahrens kritisch zu hinterfragen. Dies betrifft insbesondere die Berücksichtigung der Strategiekomponente, die bei allen Entscheidungshilfen fehlt. D.h. ein Sanierungsverfahren wird auf Haltungsebene in erster Linie unter technischen Gesichtspunkten, ohne die Bedeutung einer Haltung auf das Gesamtnetz (Netzebene) zu kennen, ausgewählt.

Im Folgenden werden nach Hinweisen zur bisherigen Vorgehensweise in der Praxis, die brauchbarsten Entscheidungshilfen aus der Literatur exemplarisch dargestellt.

### **Vorgehensweise in der Praxis**

In der bisherigen Praxis stehen zwar bei den Großstädten qualifizierte Ingenieure in der Sanierungsplanung zur Verfügung, trotzdem werden in der Regel auch dort, wie bei den kleinen Kommunen, Entscheidungen eigenständig ohne Entscheidungshilfen getroffen. Es gibt wenige Ausnahmen wie z.B. die Hamburger Entwässerungsbetriebe, die zumindest in Bezug auf die technischen Kriterien über eine Checkliste als Entscheidungshilfe verfügen.<sup>324</sup>

In der Praxis sind die Kosten immer wieder das wichtigste Auswahlkriterium, wobei nur die direkten Kosten berücksichtigt werden. Die indirekten Kosten werden wegen der Schwierigkeit ihrer Quantifizierung in der Regel nicht beachtet. Eine Ausnahme stellen die Berliner Wasserbetriebe dar.<sup>325</sup> Weitere Kriterien zur Wahl geeigneter Verfahren sind die grundsätzlichen baulichen Einsatzmöglichkeiten, die Hydraulik und der statische Nachweis. Speziellere Checklisten mit Kriterien liegen in den Entwässerungsbetrieben nicht vor.<sup>326</sup>

### **Entscheidungsprozess nach DIN EN 752:2008**

Die DIN EN 752:2008 fordert zwar in der Sanierungsplanung ganzheitliche, integrale Lösungen unter Berücksichtigung von technischen, hydraulischen, umweltrelevanten, wirtschaftlichen, betrieblichen und baulichen Aspekten. Sie liefert allerdings nur bedingt Unterstützung, wie diese Forderungen umgesetzt werden können. Bei dem Entscheidungsprozess nach DIN EN 752:2008 handelt es sich um ein vereinfachtes Auswahlverfahren, da letztendlich nur entschieden wird, welche der drei Sanierungsarten Reparatur, Renovierung oder Erneuerung angewendet werden sollte, nicht aber konkret welches Sanierungsverfahren (*siehe Abbildung 4-03*). Dies kann zu falschen Ergebnissen führen, da es gerade bei den Erneuerungsverfahren zwischen den grabenlosen und offenen Verfahren zu unterscheiden gilt. Die Berücksichtigung der indirekten Kosten (bei offenen Verfahren) kann in diesem Zusammenhang dazu führen, dass Erneuerungsverfahren mal wirtschaftlicher, mal unwirtschaftlicher gegenüber Renovierungsverfahren sein können. Auch der Aspekt, wiederholte Schäden an einer Haltung im Sinne einer substanzwertorientierten Sanierung

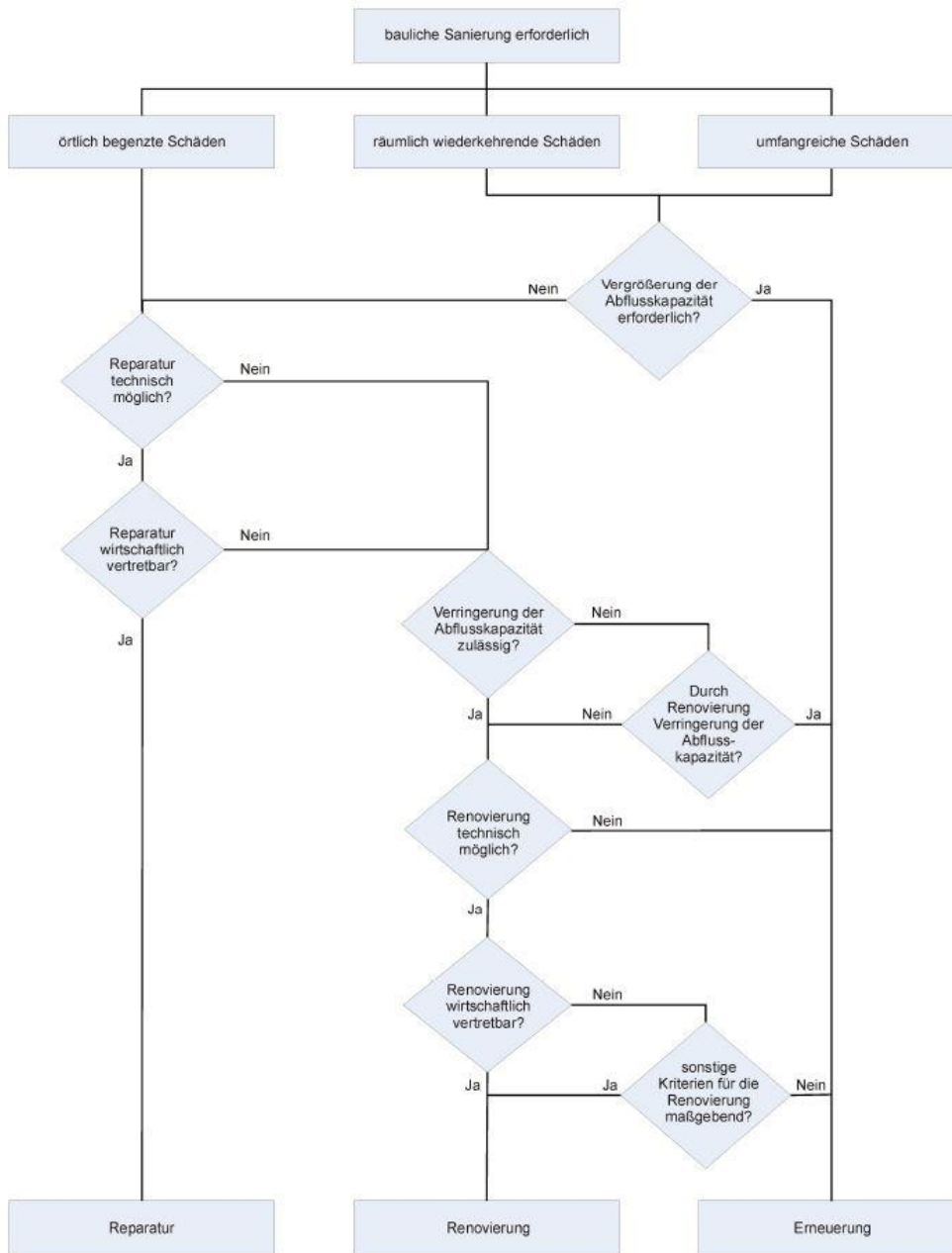
---

<sup>324</sup> Vgl. Schultz (2008), Folie 4

<sup>325</sup> Die Berliner Wasserbetriebe nehmen eine ungefähre Abschätzung der „indirekten Kosten“ vor, indem sie sich immer für Ausführungsvarianten in geschlossener Bauweise entscheiden, solange die Kosten hierfür maximal 15 % mehr ausmachen als bei Maßnahmen in offener Bauweise.

<sup>326</sup> Vgl. Plenker (2003), S. 91

besser mit einem Renovierungsverfahren statt zum wiederholten Male mit einem Reparaturverfahren zu sanieren, wird nicht eindeutig geklärt und kann zu falschen Ergebnissen führen.



**Abbildung 4-03:** Entscheidungsprozess zur Wahl der baulichen Sanierungsart<sup>327</sup>

<sup>327</sup> aus DIN EN 752 (2008), S. 34



## **GSTT-Leitfaden<sup>328</sup>**

Der GSTT-Leitfaden bezieht sich auf Abwasserkanäle im Freispiegelabfluss. Der Verfahrensablauf zur Wahl des bestgeeigneten Sanierungsverfahrens berücksichtigt über 100 Kriterien, wobei allein ca. 70 Kriterien aus dem Bereich „Umweltverträglichkeit“ stammen, ca. 30 Kriterien beziehen sich auf die „Verfahrenstechnik“. Die Bewertung der Kriterien erfolgt durch ein Punktesystem.

Insgesamt stellt der GSTT-Leitfaden einen wichtigen Schritt in der Entwicklung einer umfassenden und anwendbaren Entscheidungshilfe zur Auswahl des bestgeeigneten Sanierungsverfahrens dar. Allein das gewählte Punktesystem ist allerdings kritisch zu sehen. Sehr bedeutende technische Kriterien können die gleiche Punktzahl aufweisen wie weniger bedeutende Kriterien aus dem Bereich „Umweltverträglichkeit“. Eine differenzierte Gewichtung der Kriterien untereinander findet nicht statt. Für die ökonomischen Kriterien werden keine Punkte vergeben. Diese werden als direkte und indirekte Kosten monetär erfasst.

Des Weiteren ist die Anzahl der Umweltkriterien sehr viel höher als die der technischen Kriterien. Durch das verwendete Punktesystem wird dadurch eine Dominanz der Umweltkriterien gegenüber den technischen oder ökonomischen Kriterien erzeugt. Die Anwendung wird dadurch kompliziert und eine rationale Entscheidung erschwert.

## **Leitfaden des Landes Baden-Württemberg, Leitfaden des Landes NRW**

Beide Leitfäden beinhalten eine umfangreiche Darstellung der Inspektions- und Sanierungsplanung. Insbesondere die Sanierungsverfahren werden in Bezug auf ihre Einsatzbereiche, Vor- und Nachteile ausführlich vorgestellt. Die eigentliche Entscheidungshilfe zur Wahl des bestgeeigneten Sanierungsverfahrens fehlt allerdings in beiden Leitfäden.

## **Arbeitshilfen des Bundes**

Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und das Bundesministerium für Verteidigung (BMV) haben eine Arbeitshilfe („Arbeitshilfen Abwasser“) geschaffen, die für die Planung, den Bau und den Betrieb von abwassertechnischen Anlagen in Liegenschaften des Bundes gemäß der Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes gelten. Die Arbeitshilfen Abwasser liefern kein konkretes Ergebnis über das bestgeeignete Sanierungsverfahren. Allerdings werden in einer „Verfahrenstabelle“ für eine sehr umfangreiche Zahl an Sanierungsverfahren Ausprägungen und Beurteilungen in Bezug auf die wichtigsten Entscheidungskriterien gegeben.

Die Arbeitshilfen Abwasser stellen zwar kein konkretes Verfahren zur Wahl eines geeigneten Sanierungsverfahrens dar und können demnach nicht als Entscheidungshilfe bezeichnet werden, liefern allerdings als Arbeitshilfe sehr brauchbare Bausteine zur Bewertung und Beurteilung einzelner Entscheidungskriterien in Bezug auf die jeweiligen Sanierungsverfahren. Auf die im Internetportal des

---

<sup>328</sup> Vgl. Plenker (2003), S. 97

BMVBS hinterlegte „Verfahrenstabelle“ wird daher als ein wesentliches Element bei der inhaltlichen Ausgestaltung des in der vorliegenden Arbeit verwendeten Bewertungsverfahrens (*siehe Kapitel 6 und 7*) zurückgegriffen.

### Methodik nach Plenker

Plenker liefert eine ausführliche Entscheidungshilfe zur Wahl des bestgeeigneten Sanierungsverfahrens auf Haltungsebene. Er bedient sich hierbei weitestgehend des Kriterienkatalogs nach dem GSTT-Leitfaden, wobei er das dort verwendete Punktesystem der Methodik negativ bewertet. An den in der Literatur vorliegenden Entscheidungshilfen äußert Plenker Kritik. Zum Teil aufgrund schwer nachvollziehbaren Entscheidungsabläufen als auch an den vorgeschlagenen Bewertungsverfahren selbst. Dem versucht Plenker ein eigenes, transparentes Bewertungsverfahren entgegen zu setzen. Transparenz soll hierbei durch Anwendung paarweiser Vergleiche der Sanierungsalternativen hergestellt werden. Die Anzahl möglicher Sanierungsverfahren wird durch K.O.-Kriterien auf maximal vier reduziert. Diese werden anschließend paarweise miteinander verglichen. Danach muss für jedes Paar geprüft werden, welches Verfahren das jeweils andere dominiert. Gewählt wird das Verfahren, das den anderen Verfahren überlegen und deshalb am besten geeignet ist (*siehe Tabelle 4-08 und 4-09*).

**Tabelle 4-08:** Beispiel von Kriterien-Effekte und Ranking eines FAR<sup>329</sup>

Kriterium		Sanierungsverfahren			
		S1 – Inlining	S2 – Relining	S3 – Überfahren	S4 – Bersten
K1	Direkte Kosten [€] Rang	380.000 4	360.000 2	350.000 1	370.000 3
K2	Nutzungsdauer [Jahre] Rang	50 2	50 2	50–80 1	50 2
K3	Einfluss aus Bodenart Rang	kein 1	gering 3	weitgehend unabhängig 2	stark, bedingt einsetzbar 4
K4	Mögliche äußere Störeinflüsse Rang	chemische Inhaltsstoffe in Boden und Grundwasser 3	keine 1	Baugrund, Hindernisse 2	Fundamente, Rohrummantelung, Baugrund 4
K5	Einfluss aus Grundwasser Rang	weitgehend unabhängig 1	Zusatzmaßnahmen erforderlich 3	bauverfahrenstechnische Anpassung erforderlich 2	stark, bedingt einsetzbar 4

**Tabelle 4-09:** Vorteile Nachteile Tabelle<sup>330</sup>

	S1/S2	S1/S3	S1/S4	S2/S3	S2/S4	S3/S4
Kriterium 1	N <sub>1</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>1</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>1</sub>
Kriterium 2	V <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>	V <sub>2</sub>
Kriterium 3	V <sub>3</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>3</sub>	N <sub>3</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>3</sub>
Kriterium 4	N <sub>4</sub>	N <sub>4</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>4</sub>
Kriterium 5	V <sub>5</sub>	V <sub>5</sub>	V <sub>5</sub>	N <sub>5</sub>	V <sub>5</sub>	V <sub>5</sub>
Ergebnis	S1>S2 ?	S3>S1 ?	S1>S4 (?)	S3>S2 (?)	S2>S4	S3>S4

<sup>329</sup> aus a. a. O., S. 120

<sup>330</sup> aus ebenda

Das von Plenker verwendete formalisierte Abwägungs- und Rangordnungsverfahren (FAR) stellt zwar einen Versuch für die Herbeiführung einer rationalen Begründung eines zu wählenden Sanierungsverfahrens dar. In Bezug auf die in dieser Arbeit beschriebene Methodik der strategischen Sanierungsplanung ist dieses Bewertungsverfahren nach Plenker in der Wahl des bestgeeigneten Sanierungsverfahrens nicht das geeignetste multikriterielle Bewertungsverfahren. Näheres zur Wahl der multikriteriellen Bewertungsverfahren als Modell zur Entscheidungsfindung in der Sanierungsplanung kann *Kapitel 5* und *Kapitel 6* entnommen werden.

## **Fazit**

Die vorhandenen Entscheidungshilfen führen nicht zur Wahl des bestgeeigneten Sanierungsverfahrens im Sinne einer strategischen Sanierungsplanung. Die meisten Entscheidungshilfen führen nicht einmal zu dem Ergebnis ein konkretes Sanierungsverfahren für eine schadhafte Haltung zu bestimmen (siehe u.a. Entscheidungsprozess nach DIN EN 752:2008). Bei den Verfahren nach Plenker und GSTT wird zwar im Ergebnis ein einsetzbares Sanierungsverfahren genannt. Allerdings muss die angewandte Methodik, die zu diesem Ergebnis führt kritisch hinterfragt werden, ob sie in Bezug auf die Entscheidungsproblematik in der Sanierungsplanung das bestgeeignete Bewertungsverfahren zur Wahl geeigneter Sanierungsverfahren darstellt.

Alle vorhandenen Entscheidungshilfen beziehen sich lediglich auf die Haltungsebene, indem die Wahl des bestgeeigneten Sanierungsverfahrens auf die technisch beste Lösung hinausläuft. Die Bewertung einer schadhafte Haltung aus der Gesamtbetrachtung der Erfordernisse der Sanierung des gesamten Entwässerungsnetzes findet nicht statt.



## 5. Entscheidungstheorie in der Sanierungsplanung

### 5.1 Allgemeines

Stehen einem Entscheidungsträger zwei oder mehrere Handlungsalternativen zur Realisierung seiner Ziele zur Verfügung, so versteht man die Wahl einer dieser Handlungsalternativen allgemein als „Entscheidung“.<sup>331</sup> Im Rahmen der Entscheidungstheorie wird einem Entscheider nicht dogmatisch vorgeschrieben, was er tun soll. Es wird dem Entscheider vielmehr eine Hilfestellung geleistet, seine eigenen Zielvorstellungen in ein widerspruchsfreies Zielsystem zu überführen und dann eine Entscheidung zu treffen, die mit diesem Zielsystem im Einklang steht.<sup>332</sup>

Die Entscheidungstheorie befasst sich demnach mit dem „Entscheidungsverhalten von Individuen“, sie unterscheidet dabei zwei verschiedene Ansätze: Zum einen, den Ansatz der **deskriptiven Entscheidungstheorie**, die versucht das tatsächlichen Entscheidungsverhalten der Individuen zu beschreiben. Dabei sollen anhand getroffener Entscheidungen Rückschlüsse auf zukünftige Entscheidungen getroffen werden. Sie wird auch als empirisch-realistische Entscheidungstheorie bezeichnet. Zum anderen, den Ansatz der **normativen Entscheidungstheorie**. Hier wird versucht, durch Vorgaben von Entscheidungsregeln (Normen), den Entscheider bei der Wahl einer rationalen Entscheidung zu unterstützen bzw. den Weg zu einer rationalen Entscheidung aufzuzeigen. In der Literatur wird dieser Ansatz auch als praktisch-normative oder präskriptive Entscheidungstheorie bezeichnet.<sup>333</sup>

Die normative Entscheidungstheorie kommt zur Anwendung, wenn es um Entscheidungen oder Entscheidungssituationen geht, die zu komplex in ihrer Beantwortung sind, um sie einfach „aus dem Bauch heraus“ zu treffen. Sie bietet dem Entscheider Unterstützung bei der Suche nach einer rationalen Lösung für sein Entscheidungsproblem.

Am einfachsten lässt sich anhand eines Beispiels erläutern, wann ein Entscheidungsproblem vorliegt. Werden bei der Zustandskontrolle eines Abwasserkanals z.B. größere Risse in Längsrichtung festgestellt, wodurch sich Ex- bzw. Infiltrationen ergeben, so bedarf es aufgrund der festgestellten Mängel einer Sanierung der betroffenen Haltung bzw. des betroffenen Bereichs des Abwasserkanals. Nun hat der für die Instandhaltungen zuständige Ingenieur eine Vielzahl an Sanierungsverfahren zur Verfügung, um das Problem des schadhaften Bereichs anzugehen. Er muss eine Entscheidung treffen, welches der vielfältigen, am Markt zur Verfügung stehenden Verfahren zur optimalen Lösung führt. „Ein Entscheidungsproblem entsteht somit, wenn eine Soll-Ist-Abweichung durch verschiedene Handlungsmöglichkeiten überwunden resp. abgebaut werden kann.“<sup>334</sup>

---

<sup>331</sup> Vgl. Hagenloch (2009), S. 1

<sup>332</sup> Vgl. Laux (2007), S. 3

<sup>333</sup> Vgl. Dörsam (2007), S. 7

<sup>334</sup> Vgl. Grünig / Kühn (2009), S. 8

Anhand dieses Beispiels sollen nun verschiedene Begrifflichkeiten erläutert werden, wie sie in der normativen Entscheidungstheorie geläufig sind und in den folgenden Abschnitten Verwendung finden.

In der Sanierungsplanung kommunaler Entwässerungsnetze werden je nach Randbedingungen der Netze und strategischen Vorgaben am Ende Entscheidungen darüber getroffen, zu welchem Zeitpunkt mit welchem Verfahren schadhafte Haltungen saniert werden. Durch Kanalsanierungsmaßnahmen werden die Funktionstüchtigkeit erhalten, Kontamination von Grundwasser und Boden vermieden und der Werterhalt eines über Jahre gewachsenen, „unsichtbaren“ Vermögens gesichert. Wie bereits in *Kapitel 2.4* erläutert, sind laut DWA-Umfrage ca. 17 % der öffentlichen Kanäle kurz- bzw. mittelfristig sanierungsbedürftig und die Investitionen im Bereich der Kanalsanierung werden in Hinblick auf den bestehenden Sanierungsbedarf voraussichtlich weiter steigen; auch das Alter der Kanalisation ist zu beachten.<sup>335</sup> So steigt mit zunehmendem Kanalalter auch der Schadensanteil im Kanalnetz an. „Durch die fortschreitende Alterung dieser Anlagen [...] werden die Marktteilnehmer gezwungen, in ihre Entscheidungen betriebswirtschaftliche Denkweisen einfließen zu lassen. Somit stellt die Komplexität einer Sanierungsentscheidung ein Optimierungsproblem zwischen technischer und betriebswirtschaftlicher Betrachtung dar.“<sup>336</sup> Dabei ist zu prüfen, welche Sanierungstechnik, neben den rein technischen Gesichtspunkten, auch wirtschaftlich, bezüglich einer optimierten Restnutzung bzw. der optimalen Nutzungsdauer des Kanals die bestmöglichen Vorteile bietet. Das Bauwerk sollte hierbei hinsichtlich seiner gesamten Lebensdauer vom Bau bis zur Außerbetriebnahme und Rückbau betrachtet werden.

Die Finanzierung und die Nutzungsdauer der Sanierungsverfahren sind lediglich zwei Entscheidungskriterien bei der Sanierungsplanung. Hinzu kommen noch zahlreiche weitere Kriterien, wie z.B. Bauverfahren, Qualität der Sanierung, Synergieeffekte durch parallele Arbeiten sowie weitere Randbedingungen, die von Bedeutung sind.<sup>337</sup> Für den Entscheider wird durch die Vielzahl der Kriterien die Aufgabenstellung zu komplex, um sicher die optimale Entscheidung zu finden.

Hierbei sollen die Methoden der Entscheidungstheorie Hilfestellung bieten. Dabei ist es notwendig, ein multikriterielles Bewertungsverfahren einzusetzen, um die verschiedenen Kriterien anhand ihrer Bedeutung bewerten zu können und auch durch Abwägung zwischen technischer und betriebswirtschaftlicher Betrachtung zur optimalen Entscheidung zu gelangen.

Durch die Methoden der Entscheidungstheorie soll es möglich werden, in der Sanierungsplanung rationale Entscheidungen in Bezug auf Sanierungsverfahren und Bauweise, mit Zeitpunkt der Umsetzung der Maßnahme zu treffen. Die Komplexität, die durch die Vielzahl der zu berücksichtigenden Entscheidungskriterien entsteht, erfordert ein **multikriterielles Bewertungsverfahren**. Zur

---

<sup>335</sup> Vgl. Berger / Falk (2011), S. 26 ff.

<sup>336</sup> Vgl. Federsel (2005), S. 7

<sup>337</sup> Vgl. Rubach et. al. (2001), S. 391

Darstellung und Analyse von komplexen Entscheidungssituationen sollte das eingesetzte Bewertungsverfahren folgende Eigenschaften erfüllen:<sup>338</sup>

- Schaffung einer „multikriteriellen“ Entscheidungssituation durch Unterteilung des Bewertungsproblems in überschaubare Kriterien (Reduzierung der Komplexität durch Strukturierung der Merkmale),
- Berücksichtigung sowohl direkter als auch indirekter Kosten der zur Verfügung stehenden Bauverfahren,
- Möglichkeit der Priorisierung in der Rangordnung höher stehender Kriterien,
- Einbeziehung dynamischer Entscheidungssituationen,
- gleichzeitige Bewertung von qualitativen und quantitativen Aspekten,
- transparent und nachvollziehbar gestaltetes Entscheidungsverfahren.

Diese genannten Eigenschaften ermöglichen eine Reduzierung des „menschlichen“ Faktors, so dass die Entscheidung am Ende rationaler getroffen und gegenüber Dritten begründbar wird.

## **5.2 Darstellung von Entscheidungsproblemen durch Entscheidungsmodelle**

### **5.2.1 Basiselemente eines Entscheidungsmodells**

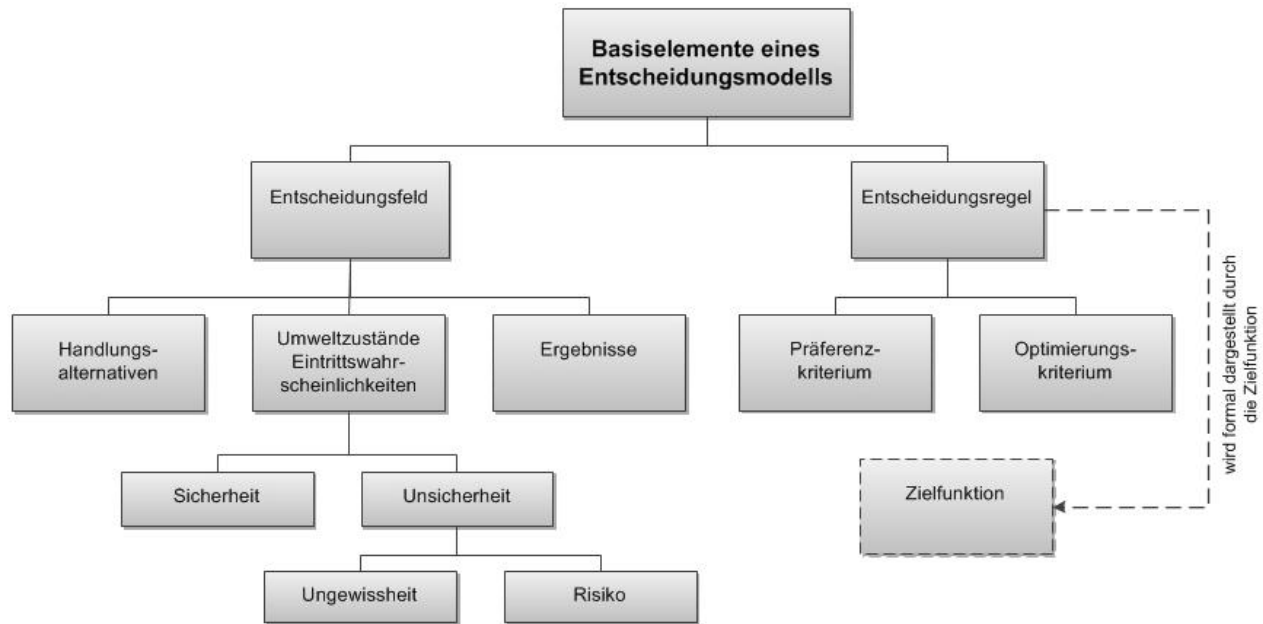
Entscheidungsprobleme können sich auf den ersten Blick sehr unterschiedlich darstellen; dennoch existiert eine gemeinsame allgemeine Grundstruktur für Entscheidungsmodelle, auf die sämtliche Entscheidungsprobleme zurückgeführt werden können. Die Entscheidungsprobleme werden durch Modelle formal dargestellt.<sup>339</sup> „Die Strukturierung und Modellierung eines Entscheidungsproblems dient dazu, das Problem besser zu verstehen und die Rationalität der Lösung zu erhöhen.“<sup>340</sup> In *Abbildung 5-01* werden die „Basiselemente eines Entscheidungsmodells“ zur Einordnung der Begriffe übersichtlich dargestellt.

---

<sup>338</sup> Vgl. GSTT-Information Nr. 25-1 (2011), S. 6

<sup>339</sup> Vgl. Laux (2007), S. 19

<sup>340</sup> Vgl. Eisenführ / Weber / Langer (2010), S. 40



**Abbildung 5-01:** Basiselemente eines Entscheidungsmodells<sup>341</sup>

Die Hauptkomponenten des Entscheidungsmodells bilden das Entscheidungsfeld und die Entscheidungsregel bzw. das Zielsystem. Das **Entscheidungsfeld** beinhaltet die grundsätzlichen, dem Entscheider zur Verfügung stehenden Informationen, die durch die Handlungsalternativen, die Umweltzustände und die Ergebnisse wiedergegeben werden. Hierbei stellen die „Handlungsalternativen“ die Möglichkeiten zur Entscheidung dar. Unter „Umweltzustände“ sind äußere Einflüsse, die eintreten können, gemeint. Die „Ergebnisse“ sind Konsequenzen, die sich für eine Handlungsalternative unter Berücksichtigung des zugeordneten Umweltzustands ergeben.<sup>342</sup>

Die zweite Komponente ist die **Entscheidungsregel (Zielsystem)**. Sie beinhaltet, „welche Zielvorstellungen der Entscheidungsträger verfolgt und welche Ergebnisse hinsichtlich der Zielerfüllung angestrebt bzw. unerwünscht sind.“<sup>343</sup> Dies geschieht durch die Präferenzfunktion und das Optimierungskriterium, welche eine Bewertung der Alternativen ermöglicht.<sup>344</sup>

Das Beispiel aus *Kapitel 5.1* aufgreifend steht der Ingenieur als Entscheider aufgrund der vorliegenden Schäden und der daraus resultierenden durchzuführenden Instandhaltungsmaßnahme am Abwasserkanal vor einem Entscheidungsproblem, mit welchem Verfahren saniert werden soll. In diesem Fall hat der Entscheider nun das Ziel, eine Lösung zu finden, mit der der Schaden behoben werden kann. Dieses übergeordnete Ziel der Wiederherstellung der Funktionstüchtigkeit des Kanals

<sup>341</sup> aus Leitl (2012), S. 8, in Anlehnung an Laux (2007), S. 20 und Martens (2003), S. 3 f.

<sup>342</sup> Vgl. Laux (2007), S. 20 ff.

<sup>343</sup> Vgl. Hagenlocher (2009), S. 3

<sup>344</sup> Vgl. Martens (2003), S. 7



beinhaltet jedoch mehrere zu berücksichtigende Aspekte bzw. Unterziele. So soll das gesuchte Verfahren, neben der Eignung zur Reparatur des Schadens, auch verfahrenstechnisch, ökonomisch-sozial und ökologisch die optimale Lösung darstellen. Anhand der zu erfüllenden Ziele kann der Entscheider Handlungsalternativen und Umweltzustände für sein Entscheidungsproblem suchen. Die **Handlungsalternativen** sind, wie im Beispiel bereits genannt, die zurzeit am Markt gängigen Bauverfahren, die dem Entscheider zur Verfügung stehen, um sein Ziel zu erreichen. **Umweltzustände** sind äußere Gegebenheiten die sich auf das Ergebnis auswirken. Sie sind unabhängig von den Handlungsalternativen.<sup>345</sup> In unserem Beispiel sind z.B. die Schadensart, das Rohrmaterial und -durchmesser und die Tiefenlage des Kanals mögliche Umweltzustände. Dargestellt werden diese Aspekte in einer **Ergebnismatrix** (siehe Tabelle 5-01).

**Tabelle 5-01:** Ergebnismatrix  $e_{ij}$  mit Wahrscheinlichkeiten  $p(s)$ <sup>346</sup>

		Zustandsraum S			
		Schadensart	Rohrmaterial/ -durchmesser	Tiefenlage des Kanals	...
		$s_1$ $p(s_1)$	$s_2$ $p(s_2)$	$s_3$ $p(s_3)$	$s_m$ $p(s_m)$
Aktionsraum A	Umwelt- zustände Handlungs- alternativen				
	Offene Bauweise $a_1$	$e_{1,1}$	$e_{1,2}$	$e_{1,3}$	$e_{1,m}$
	Part. Erneuerung $a_2$	$e_{2,1}$	$e_{2,2}$	$e_{2,3}$	$e_{2,m}$
	Injektionsverfahren $a_3$	$e_{3,1}$	$e_{3,2}$	$e_{3,3}$	$e_{3,m}$
	Inlinerverfahren $a_4$	$e_{4,1}$	$e_{4,2}$	$e_{4,3}$	$e_{4,m}$
	... $a_n$	$e_{n,1}$	$e_{n,2}$	$e_{n,3}$	$e_{n,m}$

Die Menge der Umweltzustände bildet den Zustandsraum S mit den Eintrittswahrscheinlichkeiten  $p(s)$ . Die Menge der Handlungsalternativen bildet den Aktionsraum A. Die Ergebnisse  $e_{ij}$  sind die Konsequenzen, welche sich aufgrund der Handlungsalternativen und der möglichen Umweltzustände ergeben. „Mit Hilfe der Ergebnismatrix werden die für die Entscheidung relevanten Bestandteile des **Entscheidungsfeldes** beschrieben. Sie ist der Ausgangspunkt für die Entscheidung. Allerdings ist ein Entscheidungsproblem im Allgemeinen mit der Aufstellung der Ergebnismatrix noch nicht gelöst. Es fehlt noch

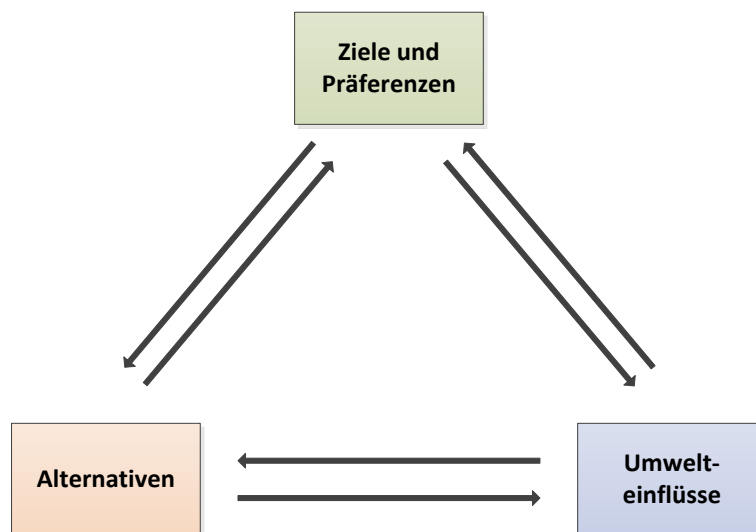
- eine Information darüber, welche Bedeutung der Entscheidungsträger den einzelnen (unsicheren) Ergebnissen beimisst und
- eine Vorschrift zur Bewertung der Handlungsalternativen, damit sie in eine Reihenfolge gebracht werden können.

<sup>345</sup> Vgl. Eisenführ / Weber / Langer (2010), S. 20

<sup>346</sup> In Anlehnung an Hagenlocher (2009), S. 8

Der erste Aspekt betrifft das **Zielsystem** des Entscheidungsträgers, der zweite Aspekt die Frage nach der anzuwendenden **Entscheidungsregel**.<sup>347</sup> Zum „Zielsystem“ gehören nicht nur die Zielgrößen (Zielfunktionen), sondern auch die Präferenzvorstellungen des Entscheidungsträgers bzgl. der Ausprägung jedes einzelnen Zieles und im Vergleich zwischen den Zielen.“<sup>348</sup>

Zwischen Handlungsalternativen, Umwelteinflüssen sowie den Zielen und Präferenzen bestehen wechselseitige Abhängigkeiten, wodurch diese selten unabhängig voneinander modelliert werden können.<sup>349</sup> So hängen „die in Betracht gezogenen Alternativen [...] davon ab, welche Ziele der Entscheider verfolgt [und] von den denkbaren Alternativen hängt ab, welche Ziele für die Auswahl einer Alternativen maßgeblich sind.“<sup>350</sup>



**Abbildung 5-02:** Gegenseitige Beeinflussung der Basiselemente<sup>351</sup>

„Hier zeigt sich, ebenso wie bei der Frage nach der Generierung neuer Alternativen, die Schlüsselstellung, die den Zielen innerhalb des gesamten Modellierungsprozesses zukommt. Nicht nur die Definition der Alternativenmenge, sondern auch die der Ereignis- oder Zustandsmenge muss zielgeleitet sein. Weiß der Entscheider (noch) nicht, was er erreichen will, kann er die relevanten ungewissen Umwelteinflüsse nicht identifizieren.“<sup>352</sup>

<sup>347</sup> Vgl. Hagenlocher (2009), S. 9 f.

<sup>348</sup> Vgl. Rommelfanger / Eickemeier (2002), S. 12

<sup>349</sup> Vgl. Eisenführ / Weber (2010), S. 19 und S. 37

<sup>350</sup> Vgl. Martens (2003), S. 7

<sup>351</sup> aus Eisenführ / Weber / Langer (2010), S. 38

<sup>352</sup> Vgl. a. a. O., S. 34

### 5.2.2 Handlungsalternativen

Die Handlungsalternativen stellen die Möglichkeiten dar, die dem Entscheider zur Erreichung seiner Ziele zur Verfügung stehen. Dabei müssen mindestens zwei Alternativen zur Auswahl stehen, die sich gegenseitig ausschließen und mit denen das Ziel mehr oder weniger gut zu erreichen ist. Die Alternativenmenge bildet den Aktionsraum  $A$  der formal  $A = \{a_1, \dots, a_m\}$  mit einer beliebigen Alternative  $a_i$  dargestellt wird.<sup>353</sup> Der Aktionsraum „definiert den Teil des Entscheidungsfeldes, der durch den Entscheidungsträger beeinflusst werden kann. Grundsätzlich kann im Aktionsraum auch die Unterlassungsalternative, also die Entscheidung ‚nichts zu tun‘, berücksichtigt werden.“<sup>354</sup> Es erscheint logisch, dass die Qualität einer Entscheidung mit einer zunehmenden Anzahl möglicher Alternativen steigt. Jedoch nimmt auch der Arbeitsaufwand zur Festlegung einer Entscheidung mit jeder neuen Alternativen zu. Dennoch sollte es das Ziel eines jeden Entscheiders sein, alle möglichen Alternativen, welche zur Lösung des Entscheidungsproblems zur Verfügung stehen, zu finden.

### 5.2.3 Umweltzustände und Eintrittswahrscheinlichkeiten

„Die Größen, die die Ergebnisse der Alternativen beeinflussen, aber keine Entscheidungsvariablen<sup>355</sup> des Entscheiders darstellen, werden als (entscheidungsrelevante) Daten bezeichnet.“<sup>356</sup>

**Umweltzustände** sind demnach äußere Faktoren, die von dem Entscheider nicht beeinflusst werden können.<sup>357</sup> Sie sind unabhängig von den Handlungsalternativen, haben jedoch Einfluss auf das Ergebnis. Umweltzustände sind z.B., wie in *Tabelle 5-01* beispielhaft dargestellt, die Schadensart, das Rohrmaterial / -durchmesser und die Tiefenlage des Kanals. So steigen mit zunehmender Tiefe der Aufwand und die Kosten für eine Ausführung in offener Bauweise, da z.B. zusätzliche Verbaumaßnahmen notwendig werden. Die Wahl eines Verfahrens in geschlossener Bauweise kann dann wirtschaftlich sinnvoller sein. Die Menge der Umweltzustände bildet den Zustandsraum  $S$  der formal  $S = \{s_1, \dots, s_n\}$  mit einem beliebigen Zustand  $s_j$  dargestellt wird.<sup>358</sup>

In Abhängigkeit von den Kenntnissen bezüglich der Eintrittswahrscheinlichkeit  $p(s_j)$  der Umweltzustände wird zwischen Sicherheit und Unsicherheit differenziert. Die Unsicherheit gliedert sich wiederum in Ungewissheit und Risiko.

### 5.2.4 Ergebnisse

Die „Ergebnisse“ sind die Konsequenzen, die sich aufgrund der möglichen Umweltzustände, in Kombination mit den vorhandenen Alternativen, ergeben. Formal werden die Ergebnisse durch

<sup>353</sup> Vgl. a. a. O., S. 22

<sup>354</sup> Vgl. Hagenlocher (2009), S. 5

<sup>355</sup> Handlungsalternativen lassen sich grundsätzlich durch Werte von Größen beschreiben, die der Entscheider eigenständig variieren und verändern kann. Diese Größen werden als Entscheidungsvariablen bezeichnet.

<sup>356</sup> Vgl. Laux (2007), S. 22

<sup>357</sup> Vgl. Dörsam (2007), S. 9

<sup>358</sup> Vgl. Eisenführ / Weber / Langer (2010), S. 24 f.

$e_{ij} = e(a_i, s_j)$  dargestellt. Dabei bildet die Gesamtheit der Ergebnisse den Ergebnisraum  $E$ . Die Zuordnung wird als Ergebnisfunktion  $e: A \times S \rightarrow E$  bezeichnet. Anschaulich lassen sich die Ergebnisse, wie bereits in *Tabelle 5-01* gezeigt, in Form einer Ergebnismatrix darstellen.

„In Entscheidungssituationen, in denen mehrere Ergebnisarten relevant sind, stehen in der Ergebnismatrix nicht nur einfache Zahlen, sondern hinter jedem Element der Ergebnismatrix  $e_{ij}$  verbirgt sich selbst wiederum – entsprechend der Anzahl der Ergebnisarten – ein Zahlenvektor.“<sup>359</sup> Als Ergebnisarten können hierbei unterschiedliche Datentypen, wie „logisch“ (ja-nein-Ausprägung), „ordinal“ (Abstufungsmöglichkeiten, wie groß-mittel-gering), „numerisch“ (Ausprägung als Zahl) und „numerische Bandbreite“ (Ausprägung in von-bis-Zahlenwerten).

Die Ergebnisse können sowohl in monetären als auch nichtmonetären Werten vorliegen. Um diese miteinander vergleichbar zu machen, muss die Ergebnismatrix in die Entscheidungsmatrix oder auch Nutzenmatrix überführt werden. Dies geschieht durch Umrechnung der Ergebnisse in Nutzwerte anhand der Anwendung des Zielsystems des Entscheiders.

### 5.2.5 Zielsystem

„Die Zielvorstellungen eines Entscheiders werden bei der Konstruktion eines Entscheidungsmodells bzw. bei der Lösung eines Entscheidungsproblems durch die Formulierung einer Zielfunktion abgebildet, die eine Bewertung der Alternativen ermöglicht. [...] Generell wird unter einer Zielfunktion die formale Darstellung einer Entscheidungsregel verstanden. Eine Entscheidungsregel besteht aus

- einer Präferenzfunktion  $\Phi$ , die den einzelnen Alternativen  $A_a$  ‚Präferenzwerte‘  $\Phi(A_a)$  eindeutig zuordnet, sowie
- einem Optimierungskriterium, das zum Ausdruck bringt, welche Ausprägung für den Präferenzwert angestrebt wird.“<sup>360</sup>

Die Festlegung von Präferenzen ist zwingend erforderlich. Im Zielsystem ist eine Auswahl der optimalen Handlungsalternativen erst möglich, wenn die Zielgrößenfestlegung (Zielinhalt) durch die Präferenzen ergänzt wird. Die alleinige Festlegung des Zielinhalts ermöglicht noch keine Auswahl der besten Handlungsalternative. Bezüglich bestimmter Ergebnismerkmale, lassen sich daher folgende Präferenzarten unterscheiden:

- Höhenpräferenz,
- Artenpräferenz,
- Unsicherheits- und Risikopräferenz,
- Zeitpräferenz.<sup>361</sup>

---

<sup>359</sup> Vgl. Hagenloch (2009), S. 8

<sup>360</sup> Vgl. Laux (2007), S. 24 f.

<sup>361</sup> Vgl. Hagenloch (2009), S. 11 f. und Rommelfanger / Eickemeier (2002), S. 16 f.

So kann es z.B. für den Entscheider wichtiger sein, ein Projekt in zwei anstatt in vier Monaten (Zeitpräferenz) abzuschließen oder das günstigere dem teureren Verfahren (Höhenpräferenz) vorzuziehen. Artenpräferenzen sind immer notwendig, wenn mehrere Ziele vorliegen und diese zumindest teilweise in Konflikt stehen. Die Unsicherheits- bzw. Risikopräferenz beschreibt die relative Vorziehwürdigkeit von Ergebnissen in Entscheidungssituationen, bei denen nicht geklärt ist, dass sie mit Sicherheit eintreten. Der Entscheider hat dann die Möglichkeit über die Zielgewichtung eines der Ziele zu bevorzugen.<sup>362</sup>

„Präferenzen drücken den subjektiven Nutzen aus, den der Entscheidungsträger mit der jeweiligen Ergebnisrealisation verbindet. [Der subjektive Nutzen spiegelt sich in der individuellen Festlegung einer Zielgewichtung wider]. Der Nutzen repräsentiert hierbei eine abstrakte Größe, die den Grad der Bedürfnisbefriedigung erfasst. Man geht daher in der normativen Entscheidungstheorie üblicher Weise von einem Entscheidungsträger aus, der sich für diejenige Aktion entscheidet, die seinen **Nutzen** maximiert.“<sup>363</sup> „Allgemein fordern wir, dass die Präferenzordnung des Entscheiders (im Folgenden oft auch kurz nur als ‚Präferenz‘ bezeichnet) vollständig und transitiv ist. Eine Präferenz ist *vollständig*, wenn der Entscheider für jedes beliebige Alternativenpaar eine Präferenz besitzt“<sup>364</sup>, d.h. für je zwei Alternativen  $a, b$  gilt:

$a \geq b$  oder  $a \leq b$ . (Vollständigkeit)

„Sie ist transitiv, wenn für drei beliebige Alternativen  $a, b, c$  gilt:

aus  $a > b$  und  $b > c$  folgt  $a > c$ .“<sup>365</sup> (Transitivität)

Durch das Optimierungskriterium wird die Zielrichtung des Präferenzwertes festgelegt. Dabei kann unterschieden werden in Maximierung („so viel wie möglich“), Minimierung („so wenig wie möglich“), Fixierung („genau so viel“) oder Satisfizierung<sup>366</sup> („mindestens so viel“) der Zielgröße.<sup>367</sup> Durch Maximierung bzw. Minimierung wird versucht, einen möglichst hohen Wert bzw. niedrigen Wert zu erreichen. Von Fixierung einer Zielgröße spricht man, wenn genau ein bestimmter Wert vom Entscheider angestrebt wird. Durch Satisfizierung wird ein unterer bzw. oberer Wert, also ein bestimmtes Anspruchsniveau vorgegeben, welches mindestens bzw. maximal erreicht werden soll.

Bei der Ermittlung des Nutzenwerts oder auch kurz Nutzen, können zwei Fälle unterschieden werden. Im ersten Fall gilt es zu prüfen, ob sich Nutzenfunktionen ermitteln lassen, die die Präferenzen vollständig abbilden. Im zweiten Fall werden die Präferenzen über die Wahl einer speziellen

<sup>362</sup> ebenda

<sup>363</sup> Vgl. a. a. O., S. 12

<sup>364</sup> Vgl. Eisenführ / Weber / Langer (2010), S. 110

<sup>365</sup> ebenda

<sup>366</sup> Von Satisfizierung spricht man, wenn der Entwässerungsbetrieb, z.B. durch Einsatz einer Sanierungsmaßnahme, nicht wieder 100 % des Sollzustandes seines Netzes zu erreichen, sondern bewusst Maßnahmen plant, die lediglich durchschnittlich 75 % des Sollzustandes erreichen.

<sup>367</sup> Vgl. Martens (2003), S. 7

Entscheidungsregel ausgedrückt.<sup>368</sup> In *Tabelle 5-02* soll ein Überblick über die Lösungsmöglichkeiten von Entscheidungsproblemen gegeben werden.

**Tabelle 5-02:** Mögliche Wege zur Lösung von Entscheidungsproblemen<sup>369</sup>

Entscheidung bei		Nutzenfunktion	Spezifische Verfahren
Sicherheit	ein Ziel	-	Lineare Optimierung
	mehrere Ziele	Additives Nutzenmodell	Zielgewichtung, Lexikographische Ordnung, „Körth“-Regel, Goal Programming
Unsicherheit	Ungewissheit	-	Maximin-, Maximax-, Hurwicz-, Laplace-, Savage-Niehans-Regel
	Risiko	Erwartungsnutzen-Theorie	$\mu$ -Prinzip, $(\mu, \sigma)$ -Regel, Theorem nach Bayes

Im ersten Fall, „wird davon ausgegangen, dass sich **die subjektiven Einstellungen des Entscheidungsträgers bezüglich der verschiedenen Präferenzarten mit Hilfe von Nutzenfunktionen mathematisch abbilden lassen**. Hierdurch kann jedem einzelnen Ergebnis ( $e_{ij}$ ) der Ergebnismatrix der entsprechende Nutzenwert ( $u_{ij}$ ) zugeordnet werden. Formal lässt sich dieser Transformationsprozess wie folgt darstellen:

$$\begin{array}{ccc}
 \text{Ergebnisse} & \xrightarrow{\text{Bewertung}} & \text{Nutzenfunktion} \\
 e_{ij} & \xrightarrow{f} & u_{ij} = f(e_{ij})^{370}
 \end{array}$$

Durch die Bewertung der Ergebnisse ergeben sich die Nutzwerte, die analog zur Ergebnismatrix (*siehe Tabelle 5-01*) anschließend in der Entscheidungsmatrix (*siehe Tabelle 5-03*) dargestellt werden. In der Entscheidungsmatrix sind demnach nicht mehr Ergebniswerte, sondern Nutzwerte ausgewiesen.

<sup>368</sup> Vgl. Hagenlocher (2009), S. 12 ff.

<sup>369</sup> In Anlehnung an a. a. O., S. 15

<sup>370</sup> Vgl. a. a. O., S. 12 f.

**Tabelle 5-03:** Entscheidungsmatrix<sup>371</sup>

Zustände Alternativen	Schadensart	Rohrmaterial / - durchmesser	Tiefenlage des Kanals	...
	$s_1$	$s_2$	$s_3$	$s_m$
Offene Bauweise $a_1$	$u_{1,1}$	$u_{1,2}$	$u_{1,3}$	$u_{1,m}$
Part. Erneuerung $a_2$	$u_{2,1}$	$u_{2,2}$	$u_{2,3}$	$u_{2,m}$
Injektionsverf. $a_3$	$u_{3,1}$	$u_{3,2}$	$u_{3,3}$	$u_{3,m}$
Inlinerverfahren $a_4$	$u_{4,1}$	$u_{4,2}$	$u_{4,3}$	$u_{4,m}$
... $a_n$	$u_{n,1}$	$u_{n,2}$	$u_{n,3}$	$u_{n,m}$

Im zweiten Fall wird „auf die **explizite** Ermittlung der Präferenzen (mit Hilfe einer Nutzenfunktion) verzichtet. Stattdessen werden die Präferenzen bzw. Nutzenvorstellungen durch die Wahl einer ‚passenden‘ Entscheidungsregel nur indirekt und in stark heuristischer Weise berücksichtigt. Hierbei ist es i.d.R. möglich, eine Bewertung der Handlungsalternativen unmittelbar auf Basis der Ergebnisse (der Ergebnismatrix) vorzunehmen.“<sup>372</sup>

## 5.3 Typologien bei Entscheidungen

### 5.3.1 Klassifizierung von Entscheidungsmodellen

#### Grundlagen

„Je nach Entscheidungsproblem und damit verbundener Zielsetzung lassen sich Modelle sehr unterschiedlicher Ausprägung formulieren. Um dennoch eine gewisse Übersichtlichkeit und Vergleichbarkeit der Modellösungen zu gewährleisten, werden diese Konzepte nach der charakteristischen Eigenschaft klassifiziert.“<sup>373</sup>

**Tabelle 5-04:** Klassifizierung von Entscheidungsmerkmalen (beispielhaft)<sup>374</sup>

Entscheidungsträger	Einzelentscheidung	↔	Gruppenentscheidungen
Ziele	ein Ziel	↔	mehrere Ziele
Kenntnisse der Umwelt	Sicherheit	↔	Ungewissheit, Risiko
Zeithorizont	statisch	↔	dynamisch
Gegenspieler	Zustände werden durch die Umwelt bestimmt	↔	Beeinflussung durch rational handelnde Gegenspieler

<sup>371</sup> In Anlehnung an a. a. O., S. 13

<sup>372</sup> Vgl. Hagenlocher (2009), S. 14

<sup>373</sup> Vgl. Rommelfanger / Eickemeier (2002), S. 25

<sup>374</sup> aus Leitl (2012), S. 15

Die Tabelle zeigt, dass Entscheidungsmodelle in der Ausprägung ihrer Komplexität sehr stark differenzieren können. So können z.B. Entscheidungsmodelle entstehen, die als Individualentscheidung mit einem Ziel unter Sicherheit, im Vergleich zu Entscheidungen mit mehreren Zielen unter Ungewissheit, getroffen werden.

Verdeutlicht wird dies in *Tabelle 5-05*, in der eine Entscheidungsmatrix mit 5 Alternativen (Aktionsraum  $a_{1-5}$ ), 4 Zuständen (Zustandsraum mit Wahrscheinlichkeiten  $s_1, p(s_1) - s_4, p(s_4)$ ) und 3 verfolgten Zielen ( $z_{1-3}$ ) dargestellt wird. Insgesamt ergeben sich hierbei 60 Ergebnisse. Bei nur einem Ziel unter Sicherheit (mit einem Ziel  $z$ , statt drei Zielen  $z_{1-3}$ ) beläuft sich die Zahl der Ergebnisse dagegen auf 20 Werte, die zudem sofort in die Zielgrößenmatrix überführt werden können (siehe Kapitel 5.3.2).

**Tabelle 5-05:** Ergebnismatrix bei mehreren Zielen<sup>375</sup>

Zustände Alternativen	$s_1, p(s_1)$			$s_2, p(s_2)$			$s_3, p(s_3)$			$s_4, p(s_4)$		
	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_1$	$z_2$	$z_3$
<b>a<sub>1</sub></b>	$e_{1,1}^1$	$e_{1,1}^2$	$e_{1,1}^3$	$e_{1,2}^1$	$e_{1,2}^2$	$e_{1,2}^3$	$e_{1,3}^1$	$e_{1,3}^2$	$e_{1,3}^3$	$e_{1,4}^1$	$e_{1,4}^2$	$e_{1,4}^3$
<b>a<sub>2</sub></b>	$e_{2,1}^1$	$e_{2,1}^2$	$e_{2,1}^3$	$e_{2,2}^1$	$e_{2,2}^2$	$e_{2,2}^3$	$e_{2,3}^1$	$e_{2,3}^2$	$e_{2,3}^3$	$e_{2,4}^1$	$e_{2,4}^2$	$e_{2,4}^3$
<b>a<sub>3</sub></b>	$e_{3,1}^1$	$e_{3,1}^2$	$e_{3,1}^3$	$e_{3,2}^1$	$e_{3,2}^2$	$e_{3,2}^3$	$e_{3,3}^1$	$e_{3,3}^2$	$e_{3,3}^3$	$e_{3,4}^1$	$e_{3,4}^2$	$e_{3,4}^3$
<b>a<sub>4</sub></b>	$e_{4,1}^1$	$e_{4,1}^2$	$e_{4,1}^3$	$e_{4,2}^1$	$e_{4,2}^2$	$e_{4,2}^3$	$e_{4,3}^1$	$e_{4,3}^2$	$e_{4,3}^3$	$e_{4,4}^1$	$e_{4,4}^2$	$e_{4,4}^3$
<b>a<sub>5</sub></b>	$e_{5,1}^1$	$e_{5,1}^2$	$e_{5,1}^3$	$e_{5,2}^1$	$e_{5,2}^2$	$e_{5,2}^3$	$e_{5,3}^1$	$e_{5,3}^2$	$e_{5,3}^3$	$e_{5,4}^1$	$e_{5,4}^2$	$e_{5,4}^3$

### Anzahl der Entscheidungsträger

Entscheidungen können von Einzelpersonen oder durch die gemeinsame Entscheidung in einer Gruppe getroffen werden. Sowohl die eine als auch die andere Variante hat ihre Vor- und Nachteile. „Die potentiellen Vorteile einer Gruppen- gegenüber einer Individualentscheidung sind offensichtlich. Mehr Personen können mehr Ideen generieren. Sie bringen mehr Wissen über Fakten und Zusammenhänge ein. Fehlerhafte Einschätzungen einzelner Personen können sich ausgleichen. Durch Austausch und Überprüfung von Argumenten hat der Einzelne die Chance, seine Urteile zu revidieren. Auf der anderen Seite zeigt eine umfangreiche sozialpsychologische Forschung ebenso wie die Alltagserfahrung, dass in Gruppen Mechanismen wirken, die die Nutzung der möglichen Gruppenvorteile behindern oder vollständig blockieren können.“<sup>376</sup>

<sup>375</sup> In Anlehnung an Aldinger (1999), S. 7

<sup>376</sup> Vgl. Eisenführ / Weber / Langer (2010), S. 364



Entscheidend für diese Effekte ist neben der Art der Entscheidungsaufgabe die Zusammensetzung der Gruppe. Hierbei sind insbesondere der Grad des Zusammenhaltes der Gruppe, Macht- und Statusdifferenzen sowie mögliche Interessenkonflikte zwischen den Mitgliedern wichtig.<sup>377</sup>

### Anzahl der Ziele

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal bei Entscheidungsmodellen stellt die Anzahl der Ziele dar. Es lassen sich Modelle mit einer oder mit mehreren Zielsetzungen unterscheiden.<sup>378</sup> Man spricht auch von einkriteriellen bzw. multikriteriellen Entscheidungsproblemen. „Bei vielen wirtschaftlichen Entscheidungen ist nur eine Zielvariable von Belang, etwa der Gewinn oder die Kosten.“<sup>379</sup> In diesem Fall entsprechen die Ergebnisse bereits den Zielgrößen ( $e_{ij} = z_{ij}$ ). „Liegen mehrfache Zielsetzungen vor, ist zunächst zu untersuchen, welche Beziehungen zwischen den Zielen bestehen. Es lassen sich grundsätzlich drei Arten von Zielbeziehungen unterscheiden:

- (a) Zielkomplementarität [...]
- (b) Zielkonkurrenz bzw. Zielkonflikt [...]
- Priorität Zielneutralität bzw. Zielindifferenz<sup>380</sup>

Wird durch die Erfüllung eines Ziels auch die Erfüllung eines zweiten Ziels günstig beeinflusst, so spricht man von Zielkomplementarität. Reparaturmaßnahmen können als kurzfristige Sofortmaßnahmen bei z.B. durch spontane Rohrbrüche bedingten Verunreinigungen des Erdreichs (z.B. Exfiltration gewerblicher Abwässer) eingesetzt werden. Die Maßnahmen sind zum einen kostengünstig (Ziel: Kosten) und zum anderen entsprechen sie den Vorgaben zum Umweltschutz (Ziel: Umweltschutz).

Wirkt sich die Zielerfüllung des ersten Ziels negativ bzw. ungünstig auf die Erfüllung eines weiteren Zieles aus, so spricht man von Zielkonkurrenz oder Zielkonflikt. Das Ziel einer kostengünstigen Sanierung durch Reparaturmaßnahmen kann z.B. dem Ziel des generationenübergreifenden Wirtschaftens (Substanzwerterhalt) gegenüberstehen. Bei überwiegend durch Reparaturmaßnahmen ausgeführter Sanierung kommt es irgendwann zu einem Erneuerungsstau (Substanzverlust), der die nachfolgende Generation finanziell belastet. Mindestens die zum Substanzerhalt nötigen Finanzmittel müssten heute bereits zurückgestellt werden.<sup>381</sup>

Zielneutralität bzw. Zielindifferenz tritt ein, wenn die Erfüllung eines Ziels keine Auswirkung auf die Erfüllung eines anderen Ziels hat.<sup>382</sup>

---

<sup>377</sup> ebenda

<sup>378</sup> Vgl. Rommelfanger / Eickemeier (2002), S. 25

<sup>379</sup> Vgl. Eisenführ / Weber / Langer (2010), S. 36

<sup>380</sup> Vgl. Hagenloch (2009), S. 26

<sup>381</sup> Vgl. Rubach et. al. (2001), S. 387

<sup>382</sup> Vgl. Hagenloch (2009), S. 26

## **Zeithorizont**

In Bezug auf die zeitliche Abfolge zu treffender Entscheidungen kann zwischen statischen und dynamischen Entscheidungsmodellen unterschieden werden. „Bei einstufigen oder statischen Entscheidungsmodellen werden Entscheidungen unabhängig von später zu treffenden Folgeentscheidungen getroffen. Dabei ist es natürlich möglich, dass die Ergebnisse der verschiedenen Aktionen nicht zu einem bestimmten sondern zu mehreren hintereinander liegenden Zeitpunkten anfallen. [...] Bei mehrstufigen oder dynamischen Entscheidungsmodellen werden Entscheidungen (Entscheidungssequenzen) getroffen, die in Interdependenz stehen und hintereinander zu treffen sind.“<sup>383</sup>

Die Unterscheidung von statischen und dynamischen Entscheidungsmodellen soll folgendes Beispiel verdeutlichen. Aufgrund einer neu geplanten Bahndammunterführung soll eine Ortsstraße inklusive der bestehenden Kanaltrasse höhenmäßig auf ein anderes Niveau gebracht werden („neue Trasse“). Bei der Zustandserfassung des betreffenden Kanalabschnitts wurde festgestellt, dass der Kanal schwere Schäden aufweist und dringender Sanierungsbedarf besteht. Die Lösung eines statischen Entscheidungsmodells könnte z.B. die Erneuerung der beschädigten Haltung sein, die erwähnte Straßenbaumaßnahme, die etwa 5 Jahre später gebaut werden soll, wird dabei nicht berücksichtigt. Wird nach 5 Jahre nun die gesamte Straßenbaumaßnahme umgesetzt, so wird der Kanalabschnitt in eine neue Trasse umgelegt und der zuvor sanierte Kanal beseitigt. In Falle eines dynamischen Entscheidungsmodells würde man die Abhängigkeit der bevorstehenden Straßenbaumaßnahme mit berücksichtigen. Statt der Erneuerung des Kanals könnte man sich zur Überbrückung der 5 Jahre für eine Sanierung des alten Kanals mit günstigen Reparaturmaßnahmen entscheiden oder prüfen, ob die Gesamtmaßnahmen „neue Trasse“, insbesondere auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten, sofort umgesetzt werden könnte.

## **Gegenspieler**

Prozesse der Entscheidungsfindung bei denen, statt möglicher Umweltzustände, ein oder mehrere rational handelnde Gegenspieler mitwirken, sind Gegenstand der Spieltheorie. Diese Gegenspieler nehmen durch die von ihnen verfolgten Ziele Einfluss auf den Entscheidungsprozess. Dadurch hängt die endgültige Entscheidung nicht alleine vom Entscheider, sondern auch von den Gegenspielern ab.<sup>384</sup> „Spiele gegen die Natur sind Spiele, bei denen der Gegenspieler nicht ‚greifbar‘ ist (also beispielsweise die Umwelt). [...] Ist die Zahl der Spieler unbegrenzt, so heißt dies ein n-Personen-Spiel, bei Spielen gegen die Natur wird auch von Einpersonenspielen gesprochen.“<sup>385</sup>

---

<sup>383</sup> Vgl. Rommelfanger / Eickemeier (2002), S. 26

<sup>384</sup> Vgl. Hüftle (2006b), S. 10

<sup>385</sup> ebenda

Spieltheoretische Modelle wurden insbesondere dafür entwickelt, um einzelne Akteure und die Interaktion mehrerer Akteure unter Berücksichtigung der jeweils eigenen Akteursperspektive abzubilden. Sie sind dagegen eher ungeeignet technische Aspekte zu integrieren.<sup>386</sup>

## Kenntnisse der Umwelt

Wie aus *Tabelle 5-04* ersichtlich und bereits im vorherigen Kapitel erwähnt, lässt sich der Kenntnisstand bezüglich der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Umweltzustandes in Sicherheit, Ungewissheit und Risiko einteilen.

### 5.3.2 Entscheidungen bei Sicherheit<sup>387</sup>

„Eine Entscheidung bei Sicherheit ist dadurch charakterisiert, dass die Umwelt nur einen vorab bekannten Zustand einnehmen kann, dem je Zielart eindeutig ein Ergebniswert zugeordnet ist.“ In diesem Fall vereinfacht sich das Entscheidungsproblem. In die Ergebnismatrix (*siehe Tabelle 5-01*) können anstelle der möglichen Umweltzustände  $s_i$  direkt die Zielgrößen  $z_i$  eingetragen werden. Man spricht dann von einer **Zielgrößenmatrix**, da sie einer Ergebnismatrix mit nur einem Zustand entspricht (*siehe Tabelle 5-06*).

**Tabelle 5-06:** Zielgrößenmatrix

Ziele Alternativen	Eignung	Kosten	Umwelt	...
	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_m$
Offene Bauweise $a_1$	$e_1^1$	$e_1^2$	$e_1^3$	$e_1^m$
Part. Erneuerung $a_2$	$e_2^1$	$e_2^2$	$e_2^3$	$e_2^m$
Injektionsverfahren $a_3$	$e_3^1$	$e_3^2$	$e_3^3$	$e_3^m$
Inlinerverfahren $a_4$	$e_4^1$	$e_4^2$	$e_4^3$	$e_4^m$
... $a_n$	$e_n^1$	$e_n^2$	$e_n^3$	$e_n^m$

### 5.3.3 Entscheidungen bei Ungewissheit<sup>388</sup>

„Bei einem Entscheidungsproblem unter Ungewissheit handelt es sich um eine Situation mit mehreren möglichen Umweltzuständen, deren Eintrittswahrscheinlichkeiten dem Entscheidungsträger nicht bekannt sind.“ In diesem Fall wird eine Entscheidung in Abhängigkeit der **Unsicherheitspräferenz** des Entscheiders getroffen. Nachfolgend werden kurz die fünf Entscheidungsregeln („spezifische Verfahren“ aus *Tabelle 5-02*) erläutert.

<sup>386</sup> Vgl. Klobasa (2009), S. 164

<sup>387</sup> Vgl. Hagenlocher (2009), S. 19

<sup>388</sup> Vgl. a. a. O., S. 43 ff.

### Maximax-Regel

„Die Maximax-Regel empfiehlt die Wahl derjenigen Alternative, die beim Eintreten des jeweils günstigsten Umweltzustandes zum besten Ergebnis führt (maximales Zeilenmaximum). Die Maximax-Regel spiegelt damit ein extrem optimistisches bzw. risikofreudiges Verhalten wieder. [...] Die Zielfunktion lautet:  $\Phi(a_i) = \max e_{ij} \rightarrow \text{Max!}$ “

### Maximin-Regel

„Die Maximin-Regel, die auch teilweise als Minimax-Regel bezeichnet wird, spiegelt das Entscheidungsverhalten eines extrem pessimistischen bzw. risikoscheuen Entscheiders wider. Bei dieser Regel wird bei jeder Alternative nur ihr Worst Case-Szenario betrachtet, wobei die Entscheidung dann für die Alternative gefällt wird, bei der das Minimum am größten ist. [...] Die Zielfunktion lautet:  $\Phi(a_i) = \min e_{ij} \rightarrow \text{Max!}$ “

### Hurwicz-Regel

„Die Hurwicz-Regel kombiniert die Maximax- und die Maximin-Regel. Der Entscheidungsträger berücksichtigt sowohl die schlechteste als auch die günstigste Umweltsituation, indem vom Entscheidungsträger selbst ein so genannter Optimismus-Parameter  $\lambda$  festgelegt wird. Hierdurch kann implizit die individuelle ‚Risikoeinstellung‘ des Entscheidungsträgers bei der Alternativenauswahl mit berücksichtigt werden. Die zu maximierende ‚Zielfunktion‘ lautet:  $\Phi(a_i) = \lambda \cdot \max e_{ij} + (1 - \lambda) \cdot \min e_{ij}$ ; mit  $0 \leq \lambda \leq 1$

Die einzelnen Werte des Optimismusparameters können abschnittsweise wie folgt gedeutet werden:

- $\lambda > 0,5$ : der Entscheider ist eher risikofreudig
- $\lambda = 0,5$ : der Entscheider ist eher risikoneutral
- $\lambda < 0,5$ : der Entscheider ist eher risikoscheu

### Savage-Niehans-Regel

„Die Savage-Niehans-Regel beruht auf der Überlegung, dass der Entscheider eine Enttäuschung bzw. Schaden (im Sinne von Opportunitätskosten) erleidet, sofern er eine Alternative  $a_i$  ergriffen hat, die sich im Nachhinein als nicht optimal erweist, wenn ein bestimmter Umweltzustand  $s_i$  eingetreten ist. Der ‚Enttäschungswert‘  $s_{ij}$  ist gleich der Differenz aus dem im Umweltzustand  $s_j$  maximal erreichbaren Erfolg und dem Erfolg der gewählten Alternative  $a_i$ :  $s_{ij} = \max e_{kj} - e_{ij}$

[...] Es wird unterstellt, dass der Entscheider einen möglichst geringen Enttäschungswert anstrebt. Hierzu wählt er diejenige Alternative, bei der die maximal mögliche Enttäuschung minimal wird.“ Darstellen lässt sich dies in einer Enttäuschungs- bzw. Schadensmatrix (*siehe Tabelle 5-07*). Die Werte hierfür sind dem nachfolgenden Beispiel (*siehe Tabelle 5-08*) entnommen.

**Tabelle 5-07:** Enttäuschungs- bzw. Schadensmatrix

	s <sub>1</sub>	s <sub>2</sub>	s <sub>3</sub>	Maximum
a <sub>1</sub>	(32 – 32) 0	(22 – 17) 5	(16 – 11) 5	5
a <sub>2</sub>	(32 – 22) 10	(22 – 19) 3	(16 – 16) 0	10
a <sub>3</sub>	(32 – 25) 7	(22 – 22) 0	(16 – 4) 11	11

### Laplace-Regel

„Bei der Laplace-Regel wird nach dem *Prinzip des unzureichenden Grundes* von einer Gleichwahrscheinlichkeit aller Umweltzustände ausgegangen. Die Begründung ist darin zu sehen, dass es bei Ungewissheit keinen Grund gibt anzunehmen, dass ein bestimmter Zustand eher eintreten wird als ein anderer. [...] Die Unsicherheitssituation wird dadurch in eine ‚Risikosituation‘ transformiert.“ Es wird also davon ausgegangen, dass alle Zustände gleichwahrscheinlich sind und demnach jeweils die Eintrittswahrscheinlichkeit  $p_j = 1/S$  haben; im nachfolgenden Beispiel also  $1/3$  (bei drei Zuständen).<sup>389</sup>

Die Zielfunktion lautet:  $\Phi(a_i) = \sum_{j=1}^n p_j \cdot e_{ij}$ ;  $n$  = Anzahl der Zustände“

### Zusammengefasst:

Das Beispiel in *Tabelle 5-08* soll die unterschiedlichen Ergebnisse bzw. Auswirkungen der soeben erläuterten Entscheidungsregeln bei Ungewissheitssituationen nochmals anschaulich darstellen. Dabei erzielen die Alternativen (a<sub>i</sub>) verschiedene Nutzwerte. Der relevante Umweltzustand wird z.B. durch den Konjunkturverlauf beschrieben, der die Ausprägung, gut (s<sub>1</sub>), mittel (s<sub>2</sub>) oder schlecht (s<sub>3</sub>) haben kann.

<sup>389</sup> **Hinweis:** „Die LAPLACE-Regel stellt streng genommen keine Entscheidungsregel bei Unsicherheit i.e.S. dar, obwohl sie in der Literatur üblicherweise dazu gezählt wird; es handelt sich um ein Entscheidungskonzept bei *Risiko*, das zugleich eine Verhaltensanweisung dahingehend beinhaltet, wie die Wahrscheinlichkeiten für die Zustände festzulegen sind (und zwar jeweils in Höhe von  $1/S$ ). Die Annahme der Gleichwahrscheinlichkeit der Zustände wird dabei wie folgt begründet: Bei Unsicherheit i.e.S. besteht kein zureichender Grund für die Vermutung, dass irgendein Zustand mit höherer Wahrscheinlichkeit eintritt als ein anderer. Folglich sind nach dem (auf LAPLACE zurückgehenden) „Prinzip des unzureichenden Grundes“ alle Zustände gleich wahrscheinlich.“ [vgl. Laux (2007), S. 116]

**Tabelle 5-08:** Entscheidungsregeln bei Ungewissheit

	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	Maximax	Maximin	Hurwicz ( $\lambda = 0,4$ )	Savage- Niehans	Laplace
a <sub>1</sub>	32	17	11	32	11	19,4	5	20
a <sub>2</sub>	22	19	16	22	16	18,4	10	19
a <sub>3</sub>	25	22	4	25	4	12,4	11	17
Optimale Alternative				a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>1</sub>

### 5.3.4 Entscheidungen bei Risiko<sup>390</sup>

„In einer Risikosituation ist der zukünftig eintretende Umweltzustand zum Entscheidungszeitpunkt [ebenfalls] unbekannt. Es ist dem Entscheidungsträger aber möglich, den relevanten Umweltzuständen (objektive oder subjektive) Eintrittswahrscheinlichkeiten zuzuordnen.“ Um hierbei zu einer optimalen Entscheidung zu gelangen, kann diese durch spezifische Verfahren, wie das  $\mu$ -Prinzip und die  $(\mu, \sigma)$ -Regel, oder über die Nutzenfunktionen wie das Erwartungsnutzenmodell oder auch Bernoulli-Prinzip erfolgen.

#### $\mu$ -Prinzip

Das  $\mu$ -Prinzip, als „weit verbreitete und einfache Entscheidungsregel für Risikosituationen sieht vor, die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Alternativen jeweils durch ihren mathematischen *Erwartungswert* zu charakterisieren. [...] Als Optimierungskriterium wird in der Regel die Maximierung (Minimierung) des Erwartungswertes vorgesehen, so dass diejenige Alternative optimal ist, die den größten (kleinsten) Erwartungswert der Ergebnisverteilung aufweist. [...] Formal ergibt sich folgende zu maximierende (minimierende) Präferenzfunktion:  $\Phi(a_i) = \mu_i = \sum_{j=1}^n p_j \cdot e_{ij}$ “

**Tabelle 5-09:** Ergebnismatrix,  $\mu$ -Prinzip

	S <sub>1</sub> p <sub>1</sub> = 0,5	S <sub>2</sub> p <sub>2</sub> = 0,2	S <sub>3</sub> p <sub>3</sub> = 0,3	$\Phi(a_i) = \mu_i$
a <sub>1</sub>	40	20	10	27
a <sub>2</sub>	120	-30	-20	48
a <sub>3</sub>	30	10	60	35

Anhand der Ergebnismatrix (*siehe Tabelle 5-09*) soll die Vorgehensweise verdeutlicht werden. Die letzte Spalte errechnet sich, beispielhaft an Wert  $\mu_1$  dargestellt, zu:  $\mu_1 = 40 \cdot 0,5 + 20 \cdot 0,2 + 10 \cdot 0,3 = 27$ .

<sup>390</sup> Vgl. Hagenlocher (2009), S. 51 ff.

Unter Anwendung der maximierenden Präferenzfunktion erweist sich die Alternative  $a_2$  mit einem Nutzenwert von „48“ als optimal.

### **( $\mu$ , $\sigma$ )-Regel**

„Beim ( $\mu$ ,  $\sigma$ )-Prinzip werden die mit den Alternativen verbundenen Ergebnisverteilungen nicht nur anhand ihres Erwartungswertes, sondern auch anhand ihrer Standardabweichung beurteilt. Die Standardabweichung  $\sigma$  einer Wahrscheinlichkeitsverteilung ist ein Maß dafür, wie stark die möglichen Ergebniswerte um ihren Erwartungswert streuen. Insofern kann sie als Ausdruck des *Risikos* interpretiert werden, das mit der Wahl einer bestimmten Alternative verbunden ist. Die Standardabweichung  $\sigma$  ist (im hier betrachteten diskreten Fall) wie folgt definiert:

$$\sigma_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n (e_{ij} - \mu_i)^2 \cdot p_j} \quad \text{bzw.} \quad \sigma_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n (p_j \cdot e_i^2) - \mu_i^2}$$

Bezüglich der Risikoeinstellung wird von folgender Interpretation ausgegangen. Ein *risikoscheuer* Entscheider misst dem Risiko, einen Ergebniswert (Gewinn, Einkommen etc.) zu realisieren, der unterhalb seines Erwartungswertes liegt, ein größeres Gewicht zu als der Chance einer positiven Abweichung. Er strebt daher – bei gegebenem Erwartungswert – eine möglichst geringe Streuung der Ergebniswerte an. Ein *risikofreudiger* Entscheider gewichtet dagegen umgekehrt die Chance auf einen hohen Ergebniswert stärker als die Gefahr der Unterschreitung des Erwartungswertes. Er wird daher von zwei (beliebigen) Alternativen mit demselben Ergebniserwartungswert diejenigen mit der größeren Standardabweichung der Ergebnisverteilung vorziehen.“

Zur Ausgestaltung der Präferenzfunktion wird oftmals das formale Konzept:  $\Phi(a_i) = \Phi(\mu_i, \sigma_i) = \mu - \alpha \cdot \sigma$  verwendet; durch den Parameter  $\alpha$  wird die spezifische Risikoeinstellung des Entscheiders dargestellt, mit  $\alpha > 0$  für einen *risikoscheuen* Entscheider und  $\alpha < 0$  für einen *risikofreudigen* Entscheider (bei  $\alpha = 0$  ist der Entscheidungsträger *risikoneutral*).

Als Beispiel soll die Ergebnismatrix aus dem  $\mu$ -Prinzip dienen, in der die Erwartungswerte bereits ermittelt wurden. Mittels der Erwartungswerte ergeben sich für die Standardabweichung der einzelnen Handlungsalternativen folgende Werte:

$$\sigma_1 = \sqrt{(40 - 27)^2 \cdot 0,5 + (20 - 27)^2 \cdot 0,2 + (10 - 27)^2 \cdot 0,3} = 13,45$$

$$\sigma_2 = \sqrt{(120 - 48)^2 \cdot 0,5 + ((-30) - 48)^2 \cdot 0,2 + ((-20) - 48)^2 \cdot 0,3} = 72,08$$

$$\sigma_3 = \sqrt{(30 - 35)^2 \cdot 0,5 + (10 - 35)^2 \cdot 0,2 + (60 - 35)^2 \cdot 0,3} = 18,03$$

Die vorgegebene Präferenzfunktion  $\Phi(a_i) = 2\mu_i - 0,05 \cdot \sigma_i$ , bringt für  $\Phi(a_i)$  folgende Ergebnisse:

$$\Phi(a_1) = 2 \cdot 27 - 0,05 \cdot 13,45 = 53,32; \quad \Phi(a_2) = 92,39; \quad \Phi(a_3) = 69,09$$

Die Alternative  $a_2$  wird gewählt, da sie den größten Präferenzwert unter der Vorgabe einer minimalen Risikoscheu hat.

## Bernoulli-Prinzip

Beim Bernoulli-Prinzip oder auch Erwartungsnutzenprinzip, ist „nicht das Ergebnis [...] einer Alternative [...] für den Entscheidungsträger von Bedeutung, sondern der ihm daraus entstehende subjektive Nutzen. Dementsprechend wird nicht mehr auf Entscheidungsvorschriften zurückgegriffen, die Präferenzwerte auf Basis von Ergebnisgrößen ( $e_{ij}$ ) ermitteln. Es wird vielmehr zunächst allen Ergebniswerten mittels einer Nutzenfunktion  $u$  ein Nutzenwert  $u_{ij} = u(e_{ij})$  zugeordnet. Der entscheidungsrelevante Präferenzwert einer Alternativen ergibt sich dann als Erwartungswert dieser Nutzwerte:

$$\Phi(a_i) = E(u(e_{ij})) = \sum_{j=1}^n u(e_{ij}) \cdot p_j$$

[...] Zu wählen ist schließlich die Alternative, die den höchsten Nutzenwert aufweist.“ Anhand des nachfolgenden Beispiels, soll das Prinzip verdeutlicht werden.

**Tabelle 5-10:** Ergebnismatrix, Bernoulli-Prinzip

	$s_1$ $p_1 = 0,5$	$s_2$ $p_2 = 0,2$	$s_3$ $p_3 = 0,3$	$\Phi(a_i) = \mu_i$
$a_1$	100	144	225	146,3
$a_2$	81	36	400	167,7
$a_3$	121	121	169	135,4

Als Nutzenfunktion sei  $u_{\text{Priorität}} = \sqrt{e}$  gegeben. Durch Transformation der Ergebnismatrix anhand der Nutzenfunktion ergibt sich die in nachfolgender *Tabelle 5-11* dargestellte Entscheidungsmatrix.

**Tabelle 5-11:** Entscheidungsmatrix, Bernoulli-Prinzip

	$s_1$ $p_1 = 0,5$	$s_2$ $p_2 = 0,2$	$s_3$ $p_3 = 0,3$	$\Phi(a_i) = E(u(e_{ij}))$
$a_1$	10	12	15	11,9
$a_2$	9	6	20	11,7
$a_3$	11	11	13	11,6

Da die Alternative  $a_1$  den höchsten Erwartungsnutzen (11,9) hat, würde der Entscheider diese nach dem Bernoulli-Prinzip wählen. Er verzichtet damit auf den höheren Erwartungswert der Alternative  $a_2$  (*siehe Tabelle 5-10*), weil deren Ergebnisse unsicherer sind: der Entscheider ist *risikoscheu*.



### 5.3.5 Multikriterielle Entscheidungsprobleme

#### Grundlagen

Von multikriteriellen Entscheidungsproblemen spricht man bei „Verfahren, die eine vollständige Abbildung der Präferenzstruktur des Entscheiders in ein Modell vornehmen“<sup>391</sup> und wenn für den Entscheider nicht nur ein einzelnes Ziel (einkriterielles Entscheidungsproblem), sondern mehrere unterschiedliche Ziele von Bedeutung sind. „Sowohl in der betrieblichen Praxis als auch bei privaten Entscheidungen hat man es zumeist mit Problemen zu tun, die sich wegen ihrer Komplexität nicht durch ein einziges Zielkriterium wie Gewinn oder Kosten, sondern nur durch eine Vielzahl unterschiedlichster Kriterien in ihrer ökonomischen Bedeutung voll erfassen lassen. [...] Da Entscheidungsmodelle mit mehreren Zielsetzungen (multikriterielle Entscheidungsmodelle, Vektoroptimierungsmodelle) die Realität im allgemeinen besser beschreiben als die allein an einer Zielsetzung orientierten Modelle, befassen sich viele Beiträge zur Entscheidungslehre mit der Typisierung und Erfassung multipler Zielsetzungen im allgemeinen Entscheidungsmodell.“<sup>392</sup>

Die Komplexität von Entscheidungsmodellen steigt mit der Anzahl der Zielkriterien, der Beziehung der Ziele untereinander und auch mit der Anzahl der möglichen Alternativen, so dass es kaum möglich ist, Objekte nach mehr als 3 Zielvorgaben ohne Verstoß gegen das Transitivitätsprinzip<sup>393</sup> zu ordnen.<sup>394</sup> „Im Rahmen einer Optimierung bei mehrfacher Zielsetzung soll der Entscheider bei der Suche nach einer Lösung unterstützt werden. Eine solche Lösung ist meist eine **Kompromisslösung**, d.h. es können nicht alle Ziele des Entscheiders optimal erreicht werden, sondern der Zielerreichungsgrad einiger Ziele wird besser, der anderer Ziele schlechter sein.

Von einer **Pareto-optimalen Lösung** spricht man, wenn man sich bei einer Verbesserung in einem Ziel in den anderen Zielen nur noch verschlechtern kann. Die meisten Probleme unter mehreren Zielen besitzen eine große Zahl solcher Pareto-optimaler Lösungen. Ziel der Lösungsverfahren ist es, die Pareto-optimale Lösung zu finden, welche die **Zielpräferenzen des Entscheiders** am besten widerspiegelt.“<sup>395</sup>

Die Menge der möglichen Alternativen stellt eine erste Einteilung der Lösungsverfahren dar. Im Unterschied zu den multiobjektiven Verfahren (Multi Objective Decision Making – MODM), die sich durch stetige Lösungsräume auszeichnen, d.h. die Zahl der Alternativen enthält unendlich viele implizit festgelegte Elemente mit mehreren Zielen, setzen die multiattributiven Verfahren (Multi Attributive Decision Making – MADM) voraus, dass die Menge der zulässigen Alternativen explizit bekannt und damit endlich ist. Der Lösungsraum ist demnach diskret, es wird ein Ziel angestrebt. Dabei ist die Betrachtung aller möglichen Alternativen keine zwingende Voraussetzung. Es müssen

<sup>391</sup> Vgl. Rohr (2004), S. 35

<sup>392</sup> Vgl. Rommelfanger / Eickemeier (2002), S. 133

<sup>393</sup> Ist eine Alternative a besser als eine Alternative b und die Alternative b besser als eine Alternative c, dann muss daraus folgen, dass auch die Alternative a besser ist als Alternative c.

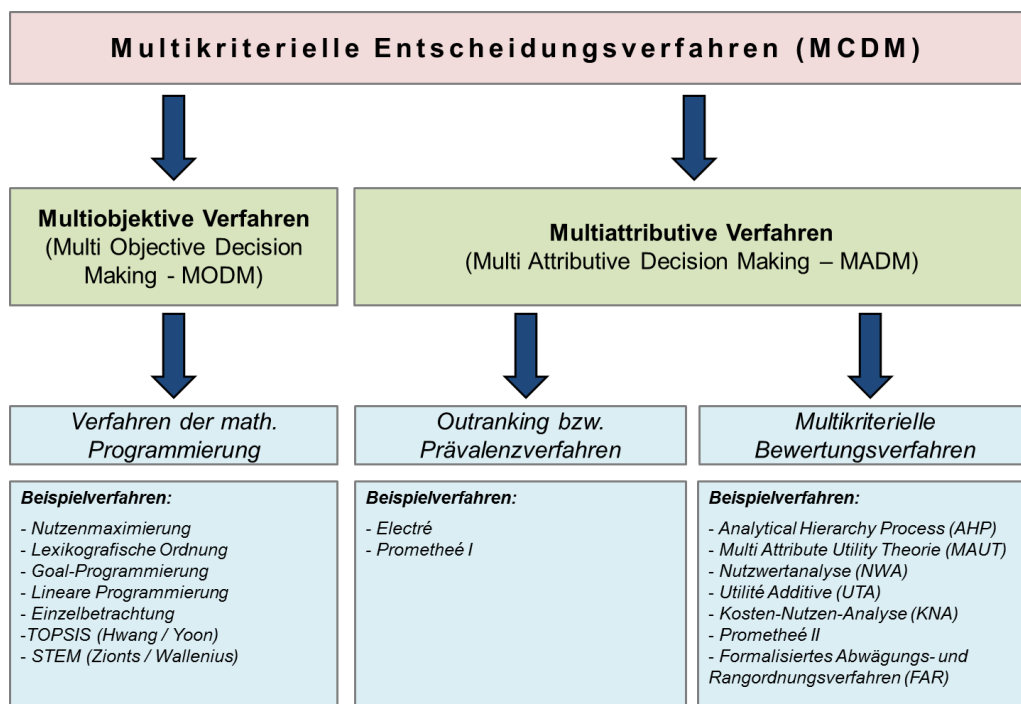
<sup>394</sup> Vgl. a. a. O., S. 135

<sup>395</sup> Vgl. Hüftle (2006c), S. 3

vielmehr nur die Alternativen berücksichtigt werden, die vom Entscheider vorher festgelegt wurden.<sup>396</sup>

Die Gruppe der multiattributiven Verfahren lässt sich in die Outranking bzw. Prävalenzverfahren und die multikriteriellen Bewertungsverfahren unterteilen. Die Unterscheidung beider Gruppen ist erforderlich, da die Abbildung der Präferenzstruktur des Entscheiders bei den Prävalenzverfahren gegenüber den multikriteriellen Bewertungsverfahren anders vorgenommen wird.<sup>397</sup>

Die *Abbildung 5-03* soll einen Überblick über die Einteilung von multikriteriellen Entscheidungsverfahren (Multi Criteria Decision Making – MCDM) geben.



**Abbildung 5-03:** Multikriterielle Entscheidungsverfahren<sup>398</sup>

## Verfahren der mathematischen Programmierung

Die mathematische Programmierung ist ein „Gebiet des Operations Research (OR), das den theoretischen Hintergrund von mathematischen Optimierungsproblemen sowie Rechenverfahren zur Bestimmung von zulässigen und optimalen Lösungen für derartige Probleme umfasst.“<sup>399</sup> „In der Mathematischen Optimierung handelt es sich dabei um Optimierungsmodelle, mit deren Hilfe komplexe Probleme, z.B. aus den Naturwissenschaften, den Ingenieurwissenschaften oder den Wirt-

<sup>396</sup> Vgl. Gurkasch (2007), S. 12

<sup>397</sup> Vgl. a. a. O., S. 14

<sup>398</sup> aus Leitl (2012), S. 25; in Anlehnung an Gurkasch (2007), S. 11 und Nitzsch (1992), S. 30

<sup>399</sup> Vgl. Gabler Wirtschaftslexikon (2012), Stichwort: mathematische Optimierung

schaftswissenschaften und deren Anwendungsgebieten in mathematischer Sprache beschrieben werden.“<sup>400</sup> Die am häufigsten angewendeten Verfahren der mathematischen Programmierung sind die Nutzenmaximierung, die Lexikografische Ordnung und die Zielprogrammierung (Goal-Programming).

### **Outranking bzw. Prävalenzverfahren**

Die Entwicklung der Outranking Verfahren begann in den 1960er Jahren. Maßgebend durch Bernhard Roy, der 1968 das von ihm entwickelte und später noch erweiterte Electré-Verfahren vorstellte. Bei den Outranking Verfahren wird dem Entscheidungsträger unterstellt, dass ihm seine **Präferenzen nicht bewusst** sind.<sup>401</sup> Sie „unterscheiden sich primär von anderen Bewertungsverfahren durch die Erweiterung des Begriffs ‚Präferenz‘, indem – neben strikter Präferenz und Indifferenz – auch schwache Präferenz und Unvergleichbarkeit in der Bewertung [...] möglich sind. Grundsätzlich liegt das Ziel der Outranking-Verfahren nicht in der Berechnung einer ‚optimalen‘ Planungsalternative, sondern im Aufzeigen von Wertebeziehungen (Outranking-Relationen) zwischen verschiedener Planungsalternativen.“<sup>402</sup> Es entstehen mehrere geeignete Handlungsalternativen, ohne eine eindeutige Präferenz für eine einzige Handlungsalternative heraus deuten zu können. Die bekanntesten Vertreter der Outranking-Verfahren sind das Electré-Verfahren und das Prometheé-Verfahren mit ihren jeweiligen Erweiterungen.

### **Multikriterielle Bewertungsverfahren**

Neben den Outranking Verfahren, die aus der europäischen bzw. französischen Schule stammen, gibt es noch die multikriteriellen Bewertungsverfahren als zweite Denkrichtung der MADM-Verfahren („amerikanische Schule“). Bei den multikriteriellen Bewertungsverfahren wird davon ausgegangen, dass der Entscheidungsträger eine **genaue Vorstellung über den Nutzen** der Kriterienausprägung und -gewichtung hat.<sup>403</sup>

„Die multikriteriellen Bewertungsverfahren bilden die Präferenzstruktur des Entscheiders in einem Modell vollständig ab. Die optimale Alternative wird je nach Verfahren durch spezifische Bewertungsvorschriften ermittelt, wodurch die Alternative mit dem höchsten Nutzwert bestimmt wird. Diese Alternative stellt dann die subjektiv beste Lösung dar und spiegelt die Präferenzfunktion des Entscheiders wider.“<sup>404</sup> Die bekanntesten Vertreter der multikriteriellen Bewertungsverfahren sind die Nutzwertanalyse (NWA), der Analytische Hierarchieprozess (AHP) und die Multi Attribute Utility Theorie (MAUT).<sup>405</sup>

---

<sup>400</sup> Vgl. Zimmermann (1998), S. 3

<sup>401</sup> Vgl. Geldermann (2008), S. 13

<sup>402</sup> Vgl. Harth (2006), S. 71

<sup>403</sup> Vgl. Geldermann (2008), S. 13

<sup>404</sup> Vgl. Gurkasch (2007), S. 14

<sup>405</sup> ebenda

## 5.4 Analyse der Bewertungsverfahren zur Entscheidungsfindung in der Sanierungsplanung

### 5.4.1 Das Entscheidungsproblem in der Sanierungsplanung

Im Zuge der Sanierungsplanung gilt es festzulegen, mit welchem Verfahren bei auftretenden Schäden und Problemen, die Kanalisation am besten saniert werden soll. Um eine unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten geeignete Wahl treffen zu können, muss neben einem umfangreichen Ingenieurwissen auch die Kenntnis der gebräuchlichen Sanierungsverfahren und deren Weiterentwicklung vorausgesetzt werden. Durch die hohe Anzahl an Alternativen und Entscheidungskriterien wird die Aufgabenstellung für den Entscheider allerdings zu komplex, um die optimale Entscheidung allein aufgrund seines Fachwissens zu treffen. Hierbei sollen die Methoden der Entscheidungstheorie, insbesondere die Nutzung eines multikriteriellen Bewertungsverfahrens, als Unterstützung für eine Entscheidung dienen. Die gebräuchlichsten Verfahren sind die Nutzwertanalyse (NWA), der Analytische Hierarchie Prozess (AHP) und die Multi Attribute Utility Theorie (MAUT). Ebenfalls ist das 1995 von *Strassert* entwickelte und von *Plenker* angewendete Formalisierte Abwägungs- und Rangordnungsverfahren (FAR) zu nennen.

In der sechsten DWA-Umfrage 2009 zum Zustand der Kanalisation in Deutschland wurde festgestellt, dass weiterhin bei 17 Prozent der Netzkilometer ein kurz- bis mittelfristiger Sanierungsbedarf (Zustandsklasse ZK 0 bis ZK 2) besteht.<sup>406</sup> In Hinblick auf die Wahl des Sanierungsverfahrens, lassen sich im Vergleich zur Umfrage 2004 Unterschiede feststellen. Es wird deutlich, dass „der Anteil durch Erneuerung sanierter Kanäle sukzessive zurückgeht. Bei Renovierung und Reparatur ist erkennbar, dass der hohe Anteil von Renovierungsverfahren aus dem Jahre 2004 zugunsten der Reparaturverfahren gesunken ist.“<sup>407</sup> Die Folge des Anstiegs der Reparaturverfahren ist ein Substanzwertverlust mit konsekutivem Erneuerungsstau, da notwendige Erneuerungen zeitlich geschoben werden.<sup>408</sup> Dies führt zu einer weiteren Erhöhung des Durchschnittsalters der Kanalisation und sorgt somit auch für eine finanzielle Belastung der nachfolgenden Generation, vorausgesetzt die entsprechenden Finanzmittel für die verschobene Erneuerung werden nicht im Vorfeld eingeplant.<sup>409</sup>

Die Alterung der Kanalisation und der dadurch entstehende Sanierungsbedarf erfordern hohe Investitionen, um den Substanzwert des Netzes zu erhalten. Diese Sanierungskosten stehen im Gegensatz zu den knappen Finanzmitteln der Kommunen und Entwässerungsbetriebe, die es gilt, so optimal wie möglich einzusetzen. Ein optimaler Finanzmitteleinsatz wird erreicht, wenn die Sanierungsplanung langfristig und ganzheitlich über das gesamte Kanalnetz erfolgt und schadhafte Kanäle nicht nur auf die Haltungsebene bezogen, betrachtet werden.

---

<sup>406</sup> Vgl. Berger / Falk (2011), S. 34

<sup>407</sup> Vgl. a. a. O., S. 31

<sup>408</sup> Vgl. Milojevic (2005b), S. 81

<sup>409</sup> ebenda

Die Inspektion der Kanäle stellt dabei die Grundlage für die Sanierungsplanung dar. Die Erstellung und Eintragung im Kanalkataster ermöglicht zudem einen umfassenden Überblick über das Kanalnetz. Vorhandene Schäden sowie ihre Dringlichkeiten können sofort, auf einen Blick, lagemäßig eingeordnet werden. Dies ermöglicht eine koordinierte Abarbeitung der Schäden auch in Bezug auf die Abstimmung mit Arbeiten anderer Sparten, wie beispielsweise Straßenbau und anderen Infrastrukturteilnehmern. Auch sonstige Randbedingungen, wie z.B. Zugänglichkeiten und Beeinträchtigungen für den Verkehr und Anlieger werden bereits im Vorfeld ersichtlich.

Ein weiteres wichtiges Problem ist die Berücksichtigung von Klimaveränderungen und demografischem Wandel. Die damit verbundenen Auswirkungen, wie z.B. starker Bevölkerungsrückgang in vereinzelter Gebieten, längere Trockenperioden oder die Zunahme lokaler Starkregenereignisse, müssen bereits heute in der Sanierungsplanung berücksichtigt werden. Dies trifft vor allem auf Gebiete in Deutschland zu, bei denen sich mehrere Einflüsse überlagern und sich dadurch die negativen Auswirkungen verstärken. In solchen Fällen müssen die Kanalnetze langfristig auf die geänderten Bedingungen, durch z.B. Wechsel von Misch- zum Trennsystem oder Druckentwässerung, angepasst werden. Die Schaffung einer flexiblen und anpassungsfähigen Technik, wird für die Entwässerungsbetriebe in diesen Bereichen, eine zukünftige Herausforderung darstellen.<sup>410</sup>

„Neben den technischen, betrieblichen und funktionellen Zielen sind generationenübergreifende sowie betriebswirtschaftliche und organisatorische Ziele maßgeblich. Entsprechend ist es erforderlich, der nachfolgenden Generation ein funktionstüchtiges Kanalnetz zu übergeben und einen Vermögens- bzw. Substanzwertverzehr während der eigenen Nutzung zu minimieren bzw. zu vermeiden.“<sup>411</sup>

Wie in den vorangegangenen Unterkapiteln gezeigt, gibt es in der Entscheidungsfindung, zur Wahl des bestgeeigneten Sanierungsverfahrens in der kommunalen Entwässerung, eine Vielzahl an Kriterien respektive Umwelteinflüssen, die mit der Entscheidungsfindung korrelieren. Durch die Zustandserfassung und -bewertung, wie sie im Vorfeld einer Kanalsanierung stattfindet, sind ein Teil der Entscheidungskriterien bzw. die Umweltzustände mit Sicherheit bekannt. Andere Umweltzustände, wie z.B. die Veränderung der Bevölkerung durch den demografischen Wandel oder die Klimaveränderungen können durch Prognosen, hinsichtlich ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit, abgeschätzt werden. Durch die ganzheitliche Betrachtung des Kanalnetzes und die Nutzung von Sanierungsstrategien, wird auch die Wahl des Zeitpunktes der Sanierung zum Entscheidungskriterium. Die Wahl des „richtigen“ Zeitpunktes kann sich technisch und wirtschaftlich positiv auswirken, wenn sich z.B. durch Zusammenlegung von Arbeiten mit anderen Sparten, nur einmalige Verkehrsbehinderungen oder durch gemeinsame Tiefbauarbeiten sich Kostenersparnisse ergeben.

Das Entscheidungsverfahren muss somit, für eine Vielzahl von Umwelteinflüssen als auch Alternativen geeignet sein. Es soll dynamische (zeitliche) Prozesse in der Entscheidungsfindung berücksichtigen.

---

<sup>410</sup> Vgl. UBA (2010), S. 211-216

<sup>411</sup> Vgl. Milojevic (2005b), S. 88

sichtigen und fähig sein, auch bei mehreren, unterschiedlichen Zielsetzungen die optimale Entscheidung zu finden.

Dies kann lediglich durch multikriterielle Bewertungsverfahren abgebildet werden, wodurch im Folgenden verschiedene multikriterielle Bewertungsverfahren dargestellt und unter Analyse der Vorgehensweise die Vor- und Nachteile der Verfahren herausgearbeitet werden. Um einen Vergleich zwischen den betrachteten Verfahren zu erhalten, wird zur Wahrung der Übersichtlichkeit, beispielhaft, in einer stark vereinfachten Betrachtung von einem Ziel mit vier Kriterien und vier Handlungsalternativen ausgegangen.

Das Ziel ist die Wahl des optimalen Sanierungsverfahrens, welches durch die Kriterien:

- Schadensart ( $K_1$ ),
- Nutzungsdauer ( $K_2$ ),
- Querschnittsreduzierung ( $K_3$ ) und
- direkte Kosten ( $K_4$ )

beschrieben wird.

Als mögliche Sanierungsverfahren respektive Handlungsalternativen wurden, auch hier beispielhaft,

- das Injektionsverfahren mit Harz ( $A_1$ ),
- das Einzelrohr-Lining ( $A_2$ ),
- das Berstlining ( $A_3$ ) und
- das Close-Fit-Lining ( $A_4$ )

ausgewählt. Die technischen Merkmale wie z.B. Querschnittsform, Nennweite, Rohrmaterial, Halungslänge sind für alle gewählten Alternativen handhabbar.<sup>412</sup>

### 5.4.2 Nutzwertanalyse

#### Definition

Die moderne Nutzwertanalyse (NWA) wurde ursprünglich in den Vereinigten Staaten unter der Bezeichnung „Utility Analysis“ entwickelt. *Zangemeister* verbreitete die NWA Anfang der 1970er Jahre im deutschsprachigen Raum. Sie wird häufig auch als Nutzwertanalyse der 1. Generation bezeichnet. Ein weiterer Ansatz, auch als Nutzwertanalyse der 2. Generation bezeichnet, stammt von *Bechmann*. Die Nutzwertanalyse ist eine in Deutschland sehr weit verbreitet Bewertungsme-

---

<sup>412</sup> Die in den nun folgenden Beispielen verwendeten Bewertungsgrößen der Handlungsalternativen bzgl. der genannten Kriterien wurden dem Internetportal des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung im Anhang 6, Verfahrens- und Kostentabelle, der Arbeitshilfen Abwasser entnommen.

thode und wird u.a. auch in verschiedenen Bereichen der Planung wie z.B. der Infrastrukturplanung und Regionalplanung eingesetzt.

Die NWA „wurde als Erweiterung der Kosten-Nutzen-Analyse [Priorität] entwickelt, da sie nicht nur monetäre Bewertungen, sondern auch die persönlichen Präferenzen des Entscheiders berücksichtigt.“<sup>413</sup> Generell wird bei der NWA, im Gegensatz zur Priorität, auf eine Monetarisierung, von nicht in Geldwerten vorliegenden Bewertungsgrößen verzichtet. Stattdessen werden die qualitativen und quantitativen Eigenschaften der Alternativen, über Nutzwerte, in ein Punktesystem überführt. „Damit können die Alternativen auch bei Zielkonflikten vergleichbar gemacht werden [...]. Sie ermöglicht Entscheidungen nach dem Maximalprinzip (die Alternative mit dem höchsten Nutzwert wird gewählt), wenn keine Kostenunterschiede bestehen. Ist die ‚bessere‘ Alternative aber auch ‚teurer‘, erfolgt die Auswahl nach dem Optimalprinzip, d. h. die NWA liefert einen Beitrag für die Entscheidung nach dem Wirtschaftlichkeitsgebot [...]. Im Hinblick auf Bewertungsprobleme ist u. U. ergänzend eine **Sensibilitätsanalyse** (Empfindlichkeitsanalyse) erforderlich.“<sup>414</sup> Mit der Sensibilitätsanalyse wird die Stabilität der Entscheidung geprüft. Hierbei werden einzelne oder auch mehrere Parameter, z.B. die Kriteriengewichtung variiert und ihre Auswirkungen auf die Rangfolge betrachtet. Dadurch lassen sich „kritische Werte“ lokalisieren, die bei entsprechenden Abweichungen eine Rangfolgenänderung mit sich bringen.<sup>415</sup>

## Verfahrensablauf

„Die Nutzwertanalyse orientiert sich [...] am Grundmodell der rationalen Entscheidung, indem durch sie mehrere Alternativen im Hinblick auf ein Zielsystem eingeordnet werden. [...] [Hierdurch] ist zwar die allgemeine Ablauflogik einer Nutzwertanalyse [...], nicht aber ihre genaue Form festgelegt. Das heißt, es gibt verschieden konkrete Formen der Nutzwertanalyse, die sich zum Beispiel in der Art und Weise, wie die einzelnen Kriterien bewertet werden oder wie die verschiedenen Kriterienmeßwerte zu Nutzwerten amalgamiert werden, unterscheiden.“<sup>416</sup> „Das wesentliche Charakteristikum der Nutzwertanalyse ist die Auflösung einer komplexen Bewertungsproblematik in einfache Teilaspekte, die Bewertung dieser Teilaspekte und die daran anknüpfende Zusammenfassung der Teilbewertungen zu einer umfassenden Bewertungsaussage: dem Nutzwert.“<sup>417</sup>

Die schematische Vorgehensweise der Nutzwertanalyse ist in *Abbildung 5-04* dargestellt.

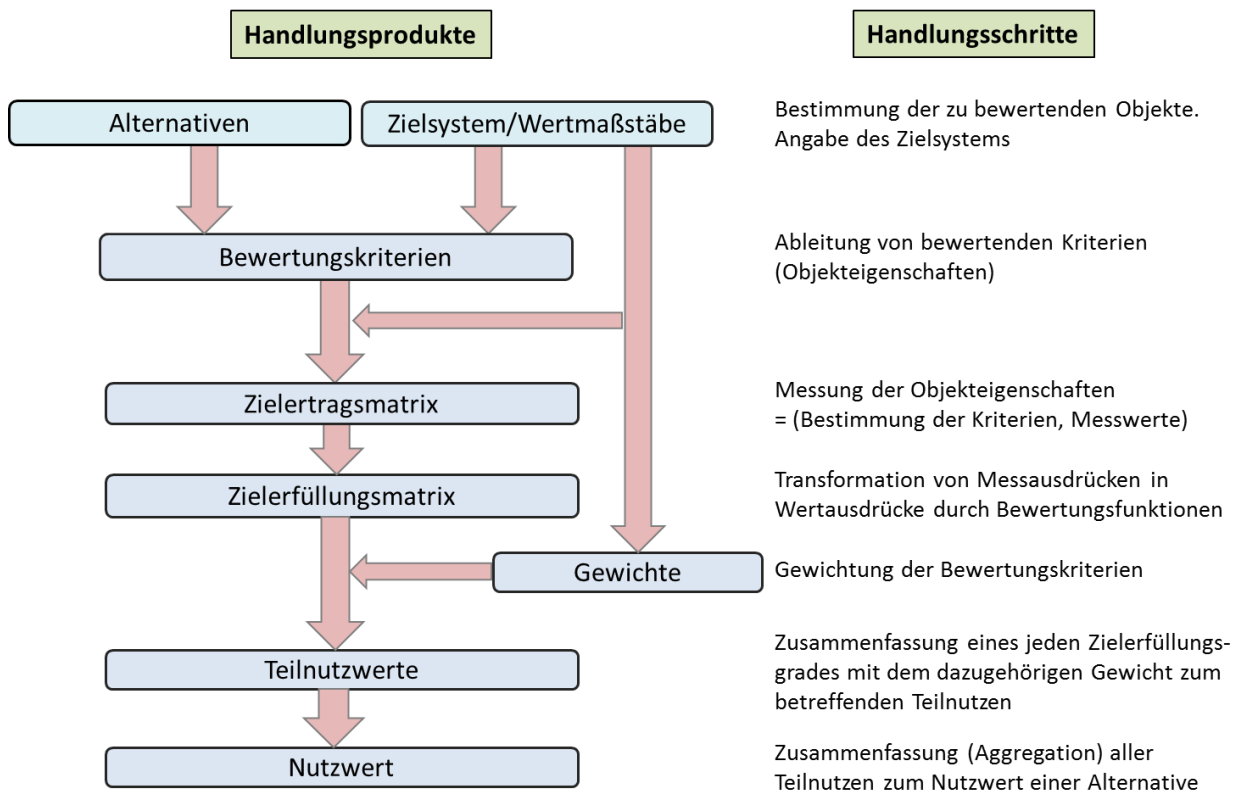
<sup>413</sup> Vgl. Hüftle (2006a), S. 9

<sup>414</sup> Vgl. OLEV (2012), Stichwort: Nutzwertanalyse

<sup>415</sup> Vgl. Wirtschaftslexikon24 (2012), Stichwort: Sensitivitätsanalyse

<sup>416</sup> Vgl. Bechmann (1978), S. 26

<sup>417</sup> ebenda



**Abbildung 5-04:** Vorgehensweise bei der Nutzwertanalyse<sup>418</sup>

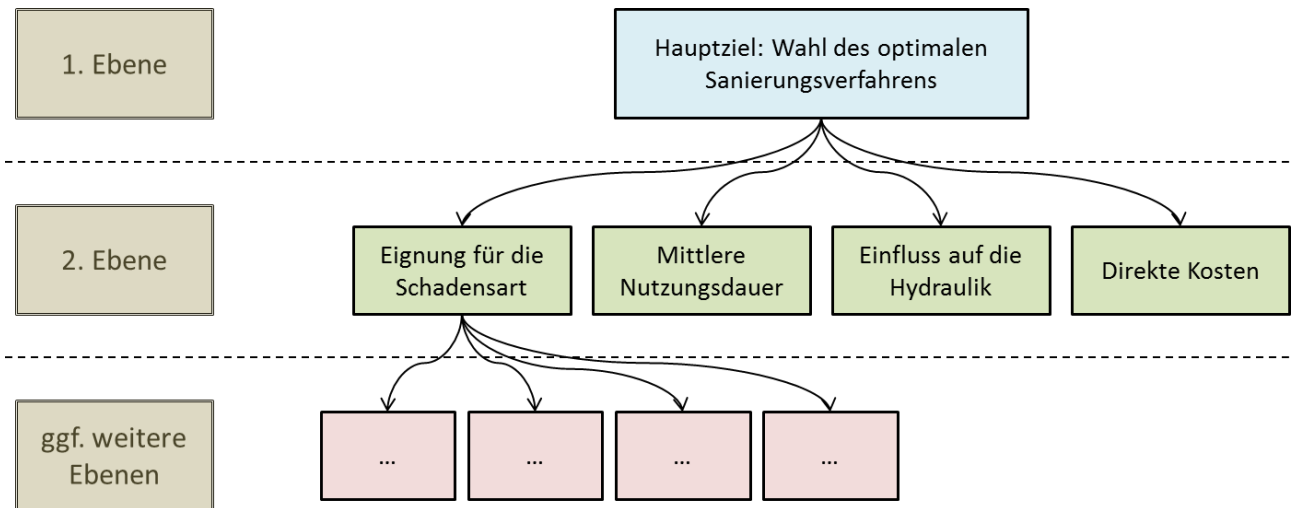
Nachfolgend werden, anhand eines Beispiels nach Leitl<sup>419</sup>, detailliert die einzelnen Phasen erläutert.

**1. Schritt:** Zuerst wird mit der Formulierung des Problems, also der **Aufstellung des Zielsystems**, begonnen. Es wird das Ziel „Wahl des optimalen Sanierungsverfahrens“ festgelegt. Um die Vorgehensweise übersichtlich zu gestalten, wird beispielhaft lediglich ein einstufiges Zielsystem mit vier Elementen gewählt. Das Zielsystem lässt sich hierarchisch, wie in *Abbildung 5-05* gezeigt, darstellen.

<sup>418</sup> aus a. a. O., S. 29

<sup>419</sup> Vgl. Leitl (2012), S. 42-46





**Abbildung 5-05:** Zielhierarchie (NWA)

**2. Schritt:** Mit der Aufstellung der Alternativen lässt sich die **Ergebnismatrix** (siehe Tabelle 5-12) erstellen. Die Ergebnisse (Zielerträge) sind hierbei dem Internetportal des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Arbeitshilfen Abwasser, Anhang 6, Verfahrens- und Kostentabelle) entnommen. Sie werden teilweise numerisch und teilweise verbal beschrieben.

**Tabelle 5-12:** Ergebnismatrix bei der NWA

Alternativen  Kriterien		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
		Injektionsverf.	Einzelrohr-Lining	Berstlining	Close-Fit-Lining
K <sub>1</sub>	Eignung Schadensart	xxx	xxx	xxx	xx
K <sub>2</sub>	Mittl. Nutzungsdauer	25 – 35 Jahre	70 – 80 Jahre	80 – 100 Jahre	40 – 50 Jahre
K <sub>3</sub>	Einfluss auf Hydraulik	kein Einfluss	groß	gering	gering
K <sub>4</sub>	Direkte Kosten	412 – 603 €	180 – 230 €	300 – 450 €	110 €

**3. Schritt:** Im Weiteren werden die Ergebnisse durch die Nutzenfunktion bewertet. Dadurch wird jedem Ergebniswert eine reelle Zahl, der Nutzenwert, zugeordnet. Das Bewertungsschema zeigt Tabelle 5-13. Die Ergebnismatrix (Tabelle 5-12) wird zur Entscheidungsmatrix (siehe Tabelle 5-14) oder auch Zielerfüllungsmatrix transformiert.

Die **Bewertung der Ergebnisse** kann hierbei sowohl *ordinal*, dem Rang nach geordnet (eine Alternative ist besser als eine andere) oder über *kardinale* Zielwerte, die das Verhältnis zwischen zwei Merkmalen wiedergeben, erfolgen. Kardinale Zielwerte ermöglichen dem Entscheider eine Einschätzung hinsichtlich der Zielerfüllung und den Abständen der Alternativen untereinander, es können also eindeutige Präferenzen festgelegt werden.

**Tabelle 5-13:** Bewertung der Ergebnisse (NWA)

Zielwert $n_j =$ Kriterien		9	7	5	3	1
		sehr gut	gut	befriedigend	schlecht	sehr schlecht
K <sub>1</sub>	Eignung Schadensart	xxx	xx	x	o	oo
K <sub>2</sub>	Mittl. Nutzungsdauer	> 90 Jahre	~ 70 Jahre	~ 50 Jahre	~ 30 Jahre	< 10 Jahre
K <sub>3</sub>	Einfluss auf Hydraulik	kein Einfluss	gering	mittel	groß	sehr groß
K <sub>4</sub>	Direkte Kosten	~ 100 €	~ 300 €	~ 500 €	~ 700 €	> 900 €

**Tabelle 5-14:** Entscheidungsmatrix bei der NWA

Alternativen Kriterien		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>5</sub>
		Injektionsverf.	Einzelrohr-Lining	Berstlining	Close-Fit-Lining
K <sub>1</sub>	Eignung Schadensart	9	9	9	7
K <sub>2</sub>	Mittl. Nutzungsdauer	3	7,5	9	4,5
K <sub>3</sub>	Einfluss auf Hydraulik	9	3	7	7
K <sub>4</sub>	Direkte Kosten	5	8	6	9

**4. Schritt:** Im vierten Schritt folgt die **Gewichtung der Kriterien**. Dies kann durch subjektive Einschätzung des Entscheiders erfolgen. Jedoch sollte dies nur durchgeführt werden, wenn es sich um wenige Kriterien handelt, um das Transitivitätsprinzip zu wahren. Effektiver erscheint ein paarweiser Vergleich der Kriterien, wodurch die Transparenz und Nachvollziehbarkeit des Verfahrens erhöht wird. Zur Gewichtung der Kriterien legt der Entscheider fest, inwieweit ein Kriterium ein anderes dominiert. Hierzu kann z.B. ein dreistufiges Bewertungsschema (*siehe Tabelle 5-15*) verwendet werden.

**Tabelle 5-15:** Bewertungsschema zur Gewichtung der Kriterien bei der NWA

Nutzenwert	Kriterium der Zeile ist ... als das Kriterium der Spalte
0	weniger wichtig
1	genauso wichtig
2	viel wichtiger

Die Bewertung wird zuerst für die obere Dreiecksmatrix durchgeführt (*siehe Tabelle 5-16*).

**Tabelle 5-16:** Gewichtung der Kriterien (Prioritätsmatrix – obere Hälfte)

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>
K <sub>1</sub>		0	2	2
K <sub>2</sub>			1	1
K <sub>3</sub>				0
K <sub>4</sub>				

Anschließend werden die entsprechenden Gegenwerte in die untere Dreiecksmatrix übertragen (*siehe Tabelle 5-17*). Als Beispiel wird der Vergleich zwischen Kriterium 1 (K<sub>1</sub>) und Kriterium 3 (K<sub>3</sub>) herangezogen. K<sub>1</sub> wird als sehr viel wichtiger angesehen als K<sub>3</sub>. Dies führt in *Tabelle 5-17*, in Zeile K<sub>1</sub> und Spalte K<sub>3</sub> zur Bewertung von „2“. Folglich muss in *Tabelle 5-17*, in Zeile K<sub>3</sub> und Spalte K<sub>1</sub> der Wert „0“ (Kriterium der Zeile ist weniger wichtig als das Kriterium der Spalte) eingetragen werden.

**Tabelle 5-17:** Gewichtung der Kriterien (Prioritätsmatrix – gesamt)

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>
K <sub>1</sub>		0	2	2
K <sub>2</sub>	2		1	1
K <sub>3</sub>	0	1		0
K <sub>4</sub>	0	1	2	

Die **Gewichtung der Kriterien** ergibt sich, wie in *Tabelle 5-18* dargestellt, durch zeilenweise Summierung und anschließender Normierung auf den Wert 1.

**Tabelle 5-18:** Gewichtung der Kriterien (Prioritätsmatrix – Faktor)

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	Gewicht	Faktor
K <sub>1</sub>		0	2	2	4	0,333
K <sub>2</sub>	2		1	1	4	0,333
K <sub>3</sub>	0	1		0	1	0,083
K <sub>4</sub>	0	1	2		3	0,250
					12	1,000

Es lässt sich somit feststellen, dass die Kriterien 1 und 2 (Eignung für die vorliegende Schadensart und mittlere Nutzungsdauer) als am wichtigsten und Kriterium 3 (Auswirkung einer möglichen Querschnittsreduzierung) als am wenigsten wichtig angesehen werden.

**5. Schritt:** Zur Ermittlung der **gewichteten Teilnutzwerte** werden die Teilnutzen mit der entsprechenden Gewichtung der Kriterien multipliziert.

**Tabelle 5-19:** Ermittlung der gewichteten Teilnutzen (Bsp. NWA)

Alternativen		A <sub>1</sub>		A <sub>2</sub>		A <sub>3</sub>		A <sub>4</sub>	
Kriterien	Gewichtung p		A <sub>1</sub> · p		A <sub>2</sub> · p		A <sub>3</sub> · p		A <sub>4</sub> · p
K <sub>1</sub>	0,333	9	3,00	9	3,00	9	3,00	7	2,33
K <sub>2</sub>	0,333	3	1,00	7,5	2,50	9	3,00	4,5	1,50
K <sub>3</sub>	0,083	9	0,75	3	0,25	7	0,58	7	0,58
K <sub>4</sub>	0,250	5	1,25	8	2,00	6	1,50	9	2,25

**6. Schritt:** Durch Summierung der Spalten mit den gewichteten Teilnutzenwerten wird der **Gesamtnutzenwert** ermittelt.

**Tabelle 5-20:** Ermittlung des Gesamtnutzenwerts (Bsp. NWA)

Alternativen		A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> · p	A <sub>2</sub>	A <sub>2</sub> · p	A <sub>3</sub>	A <sub>3</sub> · p	A <sub>4</sub>	A <sub>4</sub> · p
Kriterien	Gewichtung p								
K <sub>1</sub>	0,333	9	3,00	9	3,00	9	3,00	7	2,33
K <sub>2</sub>	0,333	3	1,00	7,5	2,50	9	3,00	4,5	1,50
K <sub>3</sub>	0,083	9	0,75	3	0,25	7	0,58	7	0,58
K <sub>4</sub>	0,250	5	1,25	8	2,00	6	1,50	9	2,25
			6,00		7,75		8,08		6,67

**Tabelle 5-22:** Rangfolge der Alternativen (Bsp. NWA)

Rang	Alternative	Nutzenwert
1.	A <sub>3</sub> Berstlining	8,08
2.	A <sub>2</sub> Einzelrohr-Lining	7,75
3.	A <sub>4</sub> Close-Fit-Lining	6,67
4.	A <sub>1</sub> Injektionsverfahren	6,00

Nach dem Gesamtnutzenwert liegt das „Berstlining“ auf Rang 1, vor den Verfahren „Einzelrohr-Lining“ und „Close-Fit-Lining“ sowie dem „Injektionsverfahren“. Das Sanierungsverfahren „Berstlining“ besitzt demnach für das angenommene Beispiel in Bezug auf die Kriterien „Eignung Schadensart“, „mittlere Nutzungsdauer“, „Einfluss auf die Hydraulik“ und „direkte Kosten“ unter Berücksichtigung der angenommenen Gewichtung den besten Nutzen und ist somit in Bezug auf diese Randbedingungen das am besten geeignete Sanierungsverfahren für diese Haltung.

Es zeigt sich zudem, dass die Nutzwerte der Verfahren auf Rang 1 und 2 sehr eng beieinander liegen. In solchen Fällen sollte unbedingt eine Sensibilitätsanalyse durchgeführt werden, um mögliche Fehlentscheidungen durch unbewusst „falsch“ gewichtete Kriterien, aufzudecken.

### 5.4.3 Analytical Hierarchy Process (AHP)

#### Definition

Entwickelt wurde der Analytische Hierarchie Prozess Anfang der 1970er Jahre vom Mathematiker Thomas Saaty. Der AHP ist eine Variante der NWA und unter mathematischen Gesichtspunkten anspruchsvoller. Erfolgreich zum praktischen Einsatz kam der AHP jedoch erst in den 1990er Jahren. Durch die Entwicklungen im EDV-Bereich wurde die Möglichkeit geschaffen, eine schnellere Auswertung der Matrizen-Multiplikation, die mathematisch die Basis des AHP darstellt, durchzuführen. Bedingt durch die paarweisen Vergleiche der Kriterien und Handlungsalternativen erfordert sie jedoch einen höheren Arbeitsaufwand.

„Die analytische Vorgehensweise bedeutet, dass das Verfahren mit Hilfe von mathematischen Funktionen arbeitet, die nachvollziehbar gegenüber Entscheidern dargestellt werden können. Der Aufbau einer hierarchischen Struktur führt dazu, dass das Problem in Ebenen aufgeteilt wird, deren Elemente den jeweiligen Kriterien oder Alternativen entsprechen [(siehe Abbildung 5-07)]. Der prozessartige Charakter ermöglicht es schließlich, das Verfahren mehrmals ablaufen zu lassen, Entscheidungen zu reproduzieren und den Weg der Entscheidungsfindung nachvollziehbar zu gestalten.“<sup>420</sup>

„Der Ausgangspunkt des Verfahrens [stellt] eine erweiterte Zielhierarchie [dar] [...]. Die letzte Stufe dieser Zielhierarchie besteht aus den relevanten Planungsalternativen. Das Ziel des Verfahrens

<sup>420</sup> Vgl. GSTT (2011), S. 9

besteht nun darin, den Beitrag eines jeden Bewertungskriteriums der Hierarchie zu seinen übergeordneten Zielen zu bestimmen. Hierfür vergleicht die Bewertungsperson die Kriterien einer Stufe paarweise bezüglich des direkt übergeordneten Ziels. Aus den Paarbewertungen werden über ein Glättungsverfahren die einzelnen Zielgewichte berechnet, welche additiv und multiplikativ zu einem Gesamtindex für jedes Kriterium aggregiert werden.<sup>421</sup>

## Verfahrensablauf

„Der AHP orientiert sich an den in der Entscheidungstheorie unterschiedenen zwei Phasen des Entscheidungsprozesses; der Meta- und Objektphase, wobei die Anwendung des AHP ausschließlich in der Objektphase erfolgt.“<sup>422</sup>

Die *Metaphase* „umfasst alle Arbeiten unabhängig vom Modell, das zur Anwendung kommt“. Sie beinhaltet die **Problemdefinition**, die **Festlegung der Ziele** bzw. Kriterien und die **Generierung der Alternativen**. Die in der Metaphase ermittelten Eingangsdaten werden in die Ergebnismatrix überführt (*siehe Tabelle 5-12*). In der *Objektphase* wird das konkrete Entscheidungsmodell formuliert. Durch die **paarweisen Vergleiche** erfolgen die **Gewichtung der Kriterien** sowie die **Bewertung und das Ranking der Alternativen** entsprechend der einzelnen Kriterien. Anschließend werden die Wertungen der Alternativen mit der Kriteriengewichtung zur **Gesamtwertung** zusammengefasst. Um die Robustheit der Ergebnisse zu prüfen, empfiehlt sich wie bei der NWA eine **Sensitivitätsanalyse**. Der Gesamtwertung entsprechend ergibt sich die **Rangfolge der Alternativen**.<sup>423</sup>

„Durch die Anwendung eines speziellen mathematischen Verfahrens wird die Alternative ausgewählt, die die Präferenzen des Entscheiders am besten repräsentiert. Weil das Modell einen immer gleichbleibenden prozessualen Ablauf im Rahmen der Entscheidungsanalyse vorgibt, bietet der AHP die Möglichkeit einer systematischen und rational nachvollziehbaren Entscheidung.“<sup>424</sup>

Das Ablaufschema des AHP ist in *Abbildung 5-06* dargestellt.

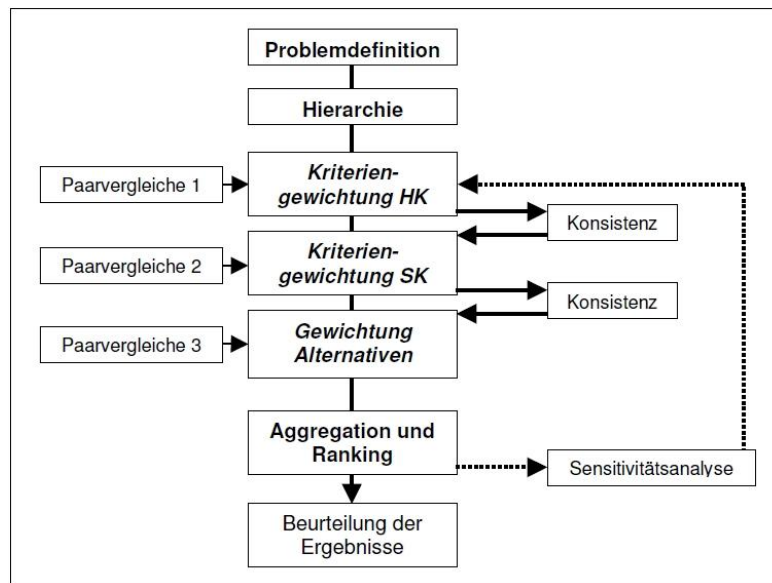
---

<sup>421</sup> Vgl. Harth (2006), S. 70 f.

<sup>422</sup> Vgl. Rohr (2004), S. 40

<sup>423</sup> ebenda

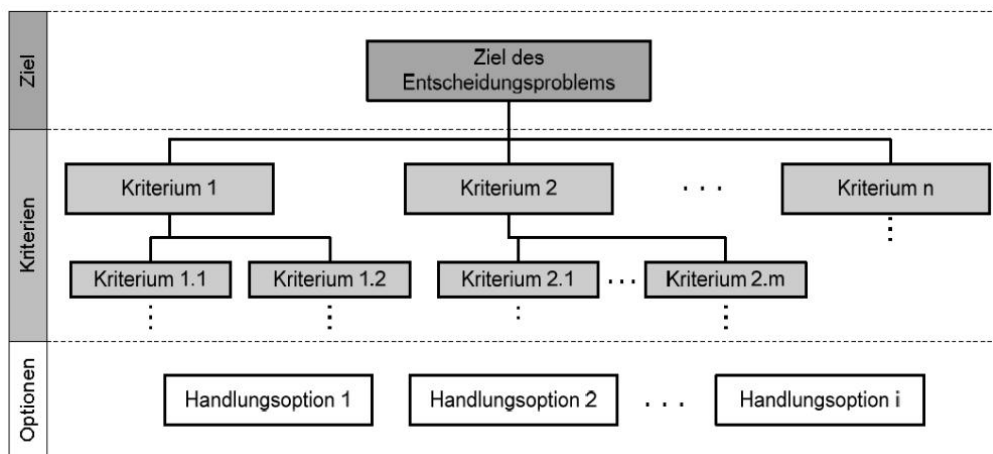
<sup>424</sup> Vgl. a. a. O., S. 41



**Abbildung 5-06:** Ablaufschema des AHP<sup>425</sup>

Wie bereits im Kapitel NWA wird auch für den AHP der Verfahrensablauf anhand eines Beispiels nach Leitl<sup>426</sup> erläutert.

**1. Schritt:** Da es sich beim AHP um eine Erweiterung der NWA handelt, beginnt es ebenfalls mit der **Problemdefinition**. Durch Festlegung des Ziels lässt sich die Hierarchiestruktur des Problems ableiten. Die Alternativen oder auch Handlungsoptionen stellen das letzte Glied der Hierarchie dar (siehe Abbildung 5-07).



**Abbildung 5-07:** Hierarchie des AHP<sup>427</sup>

<sup>425</sup> aus a. a. O., S. 42

<sup>426</sup> Vgl. Leitl (2012), S. 46-53

<sup>427</sup> aus Fastrich (2011), S. 172

**2. Schritt:** In *Tabelle 5-23* ist die **Ergebnismatrix** mit den in der Metaphase ermittelten Eingangsdaten dargestellt (*siehe auch Tabelle 5-12*).

**Tabelle 5-23:** Ergebnismatrix beim AHP

Alternativen \ Kriterium	A <sub>1</sub> Injektionsverf.	A <sub>2</sub> Einzelrohr-Lining	A <sub>3</sub> Berstlining	A <sub>4</sub> Close-Fit-Lining
K <sub>1</sub> Eignung Schadensart	xxx	xxx	xxx	xx
K <sub>2</sub> Mittl. Nutzungsdauer	25 – 35 Jahre	70 – 80 Jahre	80 – 100 Jahre	40 – 50 Jahre
K <sub>3</sub> Einfluss auf Hydraulik	kein Einfluss	groß	gering	gering
K <sub>4</sub> Direkte Kosten	412 – 603 €	180 – 230 €	300 – 450 €	110 €

**3. Schritt:** Die **Gewichtung der Kriterien** wird durch paarweise Vergleiche der einzelnen Kriterien ermittelt. Hierfür stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung. Ein vereinfachtes Verfahren und ein exaktes Verfahren mit Ermittlung der Gewichte über Eigenvektoren. Die Bewertung beim AHP erfolgt, anders als bei der NWA, über eine Bewertungsskala mit einem Wertebereich von 1 bis 9 (*siehe Tabelle 5-24*). Auch andere Skalenverläufe sind möglich, allerdings zeigt die Erfahrung, dass sich durch Verwendung anderer Skalenverläufe die Attributsgewichtungen nur unwesentlich verändern. Durch die Zwischenwerte 2, 4, 6, 8 und  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{6}$ ,  $\frac{1}{8}$  kann die Skala noch weiter differenziert werden.

**Tabelle 5-24:** Bewertungsskala AHP<sup>428</sup>

Gewichtung	Kriterium der Zeile ist zum Kriterium der Spalte
9	absolut dominierend
7	sehr viel größere Bedeutung
5	erheblich größere Bedeutung
3	etwas größere Bedeutung
1	gleiche Bedeutung
1/3	etwas geringere Bedeutung
1/5	erheblich geringere Bedeutung
1/7	sehr viel geringere Bedeutung
1/9	absolut unterlegen

### Vereinfachtes Verfahren

Zuerst werden die Kriterien jeweils Zeile zu Spalte, entsprechend der Bewertungsskala (*siehe Tabelle 5-25*) für die obere Dreiecksmatrix gewichtet. Die Gewichtung erfolgt nach individueller Einschätzung des Entscheidungsträgers. Die fehlenden Werte der unteren Dreiecksmatrix ergeben

<sup>428</sup> aus Rohr (2004), S. 43



sich als reziproker Wert der oberen Dreiecksmatrix. Der Vergleich zwischen  $K_1$  und  $K_3$  ergibt z.B. eine Gewichtung von 9, folglich ergibt sich für  $K_3$  und  $K_1$  eine Gewichtung von  $1/9$ .

**Tabelle 5-25:** AHP vereinfachtes Verfahren – Kriteriengewichtung

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>
K <sub>1</sub>	1	1/5	9	5
K <sub>2</sub>		1	1	1
K <sub>3</sub>			1	1/5
K <sub>4</sub>				1

▶

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>
K <sub>1</sub>	1	1/5	9	5
K <sub>2</sub>	5	1	1	1
K <sub>3</sub>	1/9	1	1	1/5
K <sub>4</sub>	1/5	1	5	1
Σ	6,31	3,20	16,00	7,20

Nach Gewichtung der Kriterien werden diese spaltenweise summiert und auf den Wert „1“ normiert.

**Tabelle 5-26:** AHP vereinfachtes Verfahren – Normierung auf den Wert „1“

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>
K <sub>1</sub>	0,16	0,06	0,56	0,69
K <sub>2</sub>	0,79	0,31	0,06	0,14
K <sub>3</sub>	0,02	0,31	0,06	0,03
K <sub>4</sub>	0,03	0,31	0,31	0,14
Σ	1,00	1,00	1,00	1,00

Die normierten Werte werden zeilenweises summiert; durch die Normierung der Summe erhält man die relative Gewichtung der Kriterien.

**Tabelle 5-27:** AHP vereinfachtes Verfahren – relative Gewichtung

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	Summe	Gewichtung
K <sub>1</sub>	0,16	0,06	0,56	0,69	1,48	0,37
K <sub>2</sub>	0,79	0,31	0,06	0,14	1,31	0,33
K <sub>3</sub>	0,02	0,31	0,06	0,03	0,42	0,11
K <sub>4</sub>	0,03	0,31	0,31	0,14	0,80	0,20
Σ	1,00	1,00	1,00	1,00	4,00	1,00

### Exaktes Verfahren

Bei der Ermittlung der Kriteriengewichte nach dem exakten Verfahren wird die Matrix nach dem mathematischen Verfahren berechnet. Hierzu werden die Matrix sukzessive quadriert sowie die Reihensummen berechnet und normiert. Dieser iterative Prozess wird so lange weitergeführt bis sich im Vergleich zum vorherigen Ergebnis nur noch ein geringer Unterschied einstellt.

**Tabelle 5-28:** exaktes Verfahren AHP – Kriterienvergleich

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>
K <sub>1</sub>	1	1/5	9	5
K <sub>2</sub>	5	1	1	1
K <sub>3</sub>	1/9	1	1	1/5
K <sub>4</sub>	1/5	1	5	1

**Tabelle 5-29:** Iterationsschritt 1 (AHP)

1,00	0,20	9,00	5,00	x	1,00	0,20	9,00	5,00	=	4,00	14,40	43,20	12,00	73,60	0,350
5,00	1,00	1,00	1,00		5,00	1,00	1,00	1,00		10,31	4,00	52,00	27,20	93,51	0,445
0,11	1,00	1,00	0,20		0,11	1,00	1,00	0,20		5,26	2,22	4,00	1,96	13,44	0,064
0,20	1,00	5,00	1,00		0,20	1,00	5,00	1,00		5,96	7,04	12,80	4,00	29,80	0,142
														210,3	1,00

**Tabelle 5-30:** Iterationsschritt 2 (AHP)

4,00	14,40	43,20	12,00	x	4,00	14,40	43,20	12,00	=	463,2	295,6	1248	572,2	2579	0,353
10,31	4,00	52,00	27,20		10,31	4,00	52,00	27,20		518,1	471,5	1210	443,0	2642	0,361
5,26	2,22	4,00	1,96		5,26	2,22	4,00	1,96		76,66	107,3	383,9	139,2	707	0,097
5,96	7,04	12,80	4,00		5,96	7,04	12,80	4,00		187,9	170,5	725,8	304	1388	0,190
														7316	1,00

**Tabelle 5-31:** Iterationsschritt 3 (AHP)

463,2	295,6	1248	572,2	x	463,2	295,6	1248	572,2	=	5,7·10 <sup>5</sup>	5,1·10 <sup>5</sup>	1,8·10 <sup>6</sup>	7,4·10 <sup>5</sup>	3,7·10 <sup>6</sup>	0,347	
518,1	471,5	1210	443,0		518,1	471,5	1210	443,0		6,6·10 <sup>5</sup>	5,8·10 <sup>5</sup>	2,0·10 <sup>6</sup>	8,1·10 <sup>5</sup>	4,1·10 <sup>6</sup>	0,385	
76,66	107,3	383,9	139,2		76,66	107,3	383,9	139,2		1,5·10 <sup>5</sup>	1,4·10 <sup>5</sup>	4,7·10 <sup>5</sup>	1,9·10 <sup>5</sup>	9,5·10 <sup>5</sup>	0,090	
187,9	170,5	725,8	304		187,9	170,5	725,8	304		2,9·10 <sup>5</sup>	2,7·10 <sup>5</sup>	9,4·10 <sup>5</sup>	3,8·10 <sup>5</sup>	1,9·10 <sup>6</sup>	0,178	
															1,1·10 <sup>7</sup>	1,00

**Tabelle 5-32:** Iterationsschritt 4 (AHP)

5,7·10 <sup>5</sup>	5,1·10 <sup>5</sup>	1,8·10 <sup>6</sup>	7,4·10 <sup>5</sup>	x	5,7·10 <sup>5</sup>	5,1·10 <sup>5</sup>	1,8·10 <sup>6</sup>	7,4·10 <sup>5</sup>	=	1,1·10 <sup>12</sup>	1,0·10 <sup>12</sup>	3,6·10 <sup>12</sup>	1,5·10 <sup>12</sup>	7,3·10 <sup>12</sup>	0,345
6,6·10 <sup>5</sup>	5,8·10 <sup>5</sup>	2,0·10 <sup>6</sup>	8,1·10 <sup>5</sup>		6,6·10 <sup>5</sup>	5,8·10 <sup>5</sup>	2,0·10 <sup>6</sup>	8,1·10 <sup>5</sup>		1,3·10 <sup>12</sup>	1,2·10 <sup>12</sup>	4,1·10 <sup>12</sup>	1,6·10 <sup>12</sup>	8,2·10 <sup>12</sup>	0,388
1,5·10 <sup>5</sup>	1,4·10 <sup>5</sup>	4,7·10 <sup>5</sup>	1,9·10 <sup>5</sup>		1,5·10 <sup>5</sup>	1,4·10 <sup>5</sup>	4,7·10 <sup>5</sup>	1,9·10 <sup>5</sup>		3,0·10 <sup>11</sup>	2,7·10 <sup>11</sup>	9,5·10 <sup>11</sup>	3,8·10 <sup>11</sup>	1,9·10 <sup>12</sup>	0,090
2,9·10 <sup>5</sup>	2,7·10 <sup>5</sup>	9,4·10 <sup>5</sup>	3,8·10 <sup>5</sup>		2,9·10 <sup>5</sup>	2,7·10 <sup>5</sup>	9,4·10 <sup>5</sup>	3,8·10 <sup>5</sup>		5,9·10 <sup>11</sup>	5,3·10 <sup>11</sup>	1,9·10 <sup>12</sup>	7,5·10 <sup>11</sup>	3,7·10 <sup>12</sup>	0,177
														2,1·10 <sup>13</sup>	1,00

Die Ermittlung der Gewichtungen nach dem vereinfachten Verfahren funktioniert relativ einfach und liefert bei konsistenten Matrizen annähernd ähnliche Werte wie das exakte Verfahren (*siehe Tabelle 5-32*).

**4. Schritt:** Nach Gewichtung der Kriterien folgt die **Bewertung der Alternativen**. Dies geschieht im paarweisen Vergleich der Alternativen in Bezug auf jedes Kriterium. Der Arbeitsaufwand steigt mit zunehmender Anzahl von Alternativen enorm an.

Die Bewertung der Alternativen erfolgt analog der Gewichtung der Kriterien, also ebenfalls unter Anwendung der Bewertungsskala (*siehe Tabelle 5-24*) und im paarweisen Vergleich. Die Bewertung der Alternativen erfolgt allerdings hierbei nicht wie bei der Gewichtung der Kriterien nach individueller Einschätzung des Entscheidungsträgers sondern vielmehr auf Grundlage der Ergebnismatrix (*siehe Tabelle 5-23*).

In *Tabelle 5-33* wird mit dem paarweisen Vergleich der Alternativen hinsichtlich des **Kriteriums K<sub>1</sub> „Schadensart“** begonnen. Die Handlungsalternative A<sub>1</sub> besitzt genauso wie die Alternativen A<sub>2</sub> und A<sub>3</sub> in Bezug auf das Kriterium K<sub>1</sub> eine Ausprägung von „xxx“ (*siehe Tabelle 5-23*). Dementsprechend haben diese drei Alternativen im paarweisen Vergleich die „gleiche Bedeutung“ und können unter Berücksichtigung der Bewertungsskala (*Tabelle 5-24*) mit „1“ bewertet werden. Die Alternative A<sub>4</sub> besitzt allerdings lediglich eine Ausprägung von „xx“, die Alternativen A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> und A<sub>3</sub> haben somit eine „etwas größere Bedeutung“ in Bezug auf das Kriterium K<sub>1</sub>. Die Alternative A<sub>4</sub> bekommt demnach im Vergleich zu den anderen Alternativen eine Bewertung von „3“ (*siehe Tabelle 5-33*).

**Tabelle 5-33:** Paarweiser Vergleich der Alternativen für Kriterium K<sub>1</sub> (Bsp. AHP)

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
A <sub>1</sub>	1	1	1	3
A <sub>2</sub>		1	1	3
A <sub>3</sub>			1	3
A <sub>4</sub>				1

▶

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
A <sub>1</sub>	1	1	1	3
A <sub>2</sub>	1	1	1	3
A <sub>3</sub>	1	1	1	3
A <sub>4</sub>	0,33	0,33	0,33	1
Σ	3,33	3,33	3,33	10

Nach Gewichtung der Alternativen werden die Werte spaltenweise summiert und auf den Wert „1“ normiert. Anschließend werden die normierten Werte zeilenweise summiert und man erhält, durch Normierung der Summe, das Ranking der Alternativen hinsichtlich des bewerteten Kriteriums K<sub>1</sub>.

**Tabelle 5-34:** Gewichtung der Alternativen für Kriterium K<sub>1</sub> (Bsp. AHP)

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	Summe	Gewichtung
A <sub>1</sub>	0,30	0,30	0,30	0,30	1,20	0,30
A <sub>2</sub>	0,30	0,30	0,30	0,30	1,20	0,30
A <sub>3</sub>	0,30	0,30	0,30	0,30	1,20	0,30
A <sub>4</sub>	0,10	0,10	0,10	0,10	0,40	0,10
Σ	1,00	1,00	1,00	1,00	4,00	1,00

Nun erfolgt, analog zum Kriterium  $K_1$ , der paarweise Vergleich der Alternativen hinsichtlich des **Kriteriums  $K_2$  „Mittlere Nutzungsdauer“**.

**Tabelle 5-35:** Paarweiser Vergleich und Gewichtung der Alternativen für *Kriterium  $K_2$*  (Bsp. AHP)

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
A <sub>1</sub>	1	0,20	0,14	0,33
A <sub>2</sub>		1	0,33	4,00
A <sub>3</sub>			1	5,00
A <sub>4</sub>				1

▶

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
A <sub>1</sub>	1	0,20	0,14	0,33
A <sub>2</sub>	5,00	1	0,33	4,00
A <sub>3</sub>	7,00	3,00	1	5,00
A <sub>4</sub>	3,00	0,25	0,20	1
Σ	16,00	4,45	1,68	10,33

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	Summe	Gewichtung
A <sub>1</sub>	0,06	0,04	0,09	0,03	0,22	0,06
A <sub>2</sub>	0,31	0,22	0,20	0,39	1,12	0,28
A <sub>3</sub>	0,44	0,67	0,60	0,48	2,19	0,55
A <sub>4</sub>	0,19	0,06	0,12	0,10	0,46	0,11
Σ	1,00	1,00	1,00	1,00	4,00	1,00

Als nächstes erfolgt ein paarweiser Vergleich der Alternativen hinsichtlich des **Kriteriums  $K_3$  „Einfluss auf Hydraulik“** (oder „Querschnittsreduzierung“).

**Tabelle 5-36:** Paarweiser Vergleich und Gewichtung der Alternativen für *Kriterium  $K_3$*  (Bsp. AHP)

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
A <sub>1</sub>	1	9	3	3
A <sub>2</sub>		1	0,14	0,14
A <sub>3</sub>			1	1
A <sub>4</sub>				1

▶

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
A <sub>1</sub>	1	9	3	3
A <sub>2</sub>	0,11	1	0,14	0,14
A <sub>3</sub>	0,33	7	1	1
A <sub>4</sub>	0,33	7	1	1
Σ	1,78	24,00	5,14	5,14

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	Summe	Gewichtung
A <sub>1</sub>	0,56	0,38	0,58	0,58	2,10	0,53
A <sub>2</sub>	0,06	0,04	0,03	0,03	0,16	0,04
A <sub>3</sub>	0,19	0,29	0,19	0,19	0,87	0,22
A <sub>4</sub>	0,19	0,29	0,19	0,19	0,87	0,22
Σ	1,00	1,00	1,00	1,00	4,00	1,00

Als nächstes folgt abschließend der paarweise Vergleich der Alternativen in Bezug auf **Kriterium  $K_4$  „direkte Kosten“**.

**Tabelle 5-37:** Paarweiser Vergleich und Gewichtung der Alternativen für *Kriterium K<sub>4</sub>* (Bsp. AHP)

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
A <sub>1</sub>	1	0,33	0,20	0,14
A <sub>2</sub>		1	0,33	0,20
A <sub>3</sub>			1	0,33
A <sub>4</sub>				1

▶

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
A <sub>1</sub>	1	0,33	0,20	0,14
A <sub>2</sub>	3	1	0,33	0,20
A <sub>3</sub>	5	3	1	0,33
A <sub>4</sub>	7	5	3	1
Σ	16,00	9,33	4,53	1,68

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	Summe	Gewichtung
A <sub>1</sub>	0,06	0,04	0,04	0,09	0,23	0,06
A <sub>2</sub>	0,19	0,11	0,07	0,12	0,49	0,12
A <sub>3</sub>	0,31	0,32	0,22	0,20	1,05	0,26
A <sub>4</sub>	0,44	0,54	0,66	0,60	2,23	0,56
Σ	1,00	1,00	1,00	1,00	4,00	1,00

**5. Schritt:** Die Bewertungen der Alternativen werden in die Entscheidungsmatrix übertragen) und die **gewichteten Teilnutzwerte** durch Multiplikation der Teilnutzen mit der entsprechenden Gewichtung der Kriterien ermittelt (*siehe Tabelle 5-38*).

**Tabelle 5-38:** Ermittlung der gewichteten Teilnutzen im AHP

Alternativen		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
Kriterien	Gewichtung p	A <sub>1</sub> · p	A <sub>2</sub> · p	A <sub>3</sub> · p	A <sub>4</sub> · p
K <sub>1</sub>	0,37	0,30	0,30	0,30	0,10
K <sub>2</sub>	0,33	0,06	0,28	0,55	0,11
K <sub>3</sub>	0,11	0,53	0,04	0,22	0,22
K <sub>4</sub>	0,20	0,06	0,12	0,26	0,56

**6. Schritt:** Durch Aggregation der gewichteten Teilnutzwerte wird der **Gesamtnutzenwert** ermittelt. Im Beispiel hat Alternative A<sub>3</sub> mit 0,365 den höchsten Gesamtnutzenwert (*siehe Tabelle 5-39*).

**Tabelle 5-39:** Ermittlung des Gesamtnutzenwerts im AHP

Alternativen		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
Kriterien	Gewichtung p	A <sub>1</sub> · p	A <sub>2</sub> · p	A <sub>3</sub> · p	A <sub>4</sub> · p
K <sub>1</sub>	0,37	0,30	0,30	0,30	0,10
K <sub>2</sub>	0,33	0,06	0,28	0,55	0,11
K <sub>3</sub>	0,11	0,53	0,04	0,22	0,22
K <sub>4</sub>	0,20	0,06	0,12	0,26	0,56
		0,196	0,231	0,365	0,208

**7. Schritt:** Durch die **Sensitivitätsanalyse** kann die Stabilität der Entscheidung überprüft werden. Hierzu wird beispielhaft eine gleichmäßige Kriteriengewichtung festgelegt. Es lässt sich dabei feststellen, dass zwar die Alternative  $A_3$  weiterhin den höchsten Gesamtnutzwert besitzt, allerdings die Alternative  $A_2$  von Rang 2 auf den 4. Rang abrutscht (*siehe Tabelle 5-40*).

**Tabelle 5-40:** Ermittlung des Gesamtnutzenwerts im AHP (Sensitivitätsanalyse)

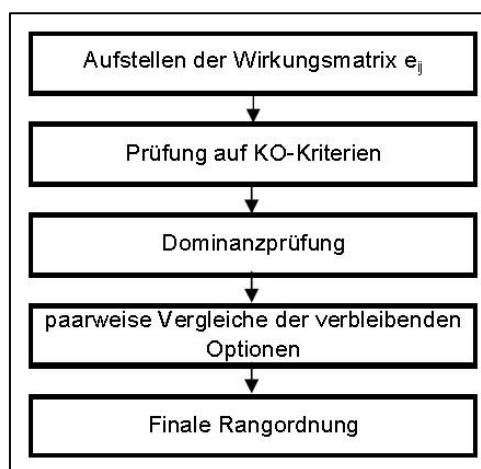
Alternativen		A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> · p	A <sub>2</sub>	A <sub>2</sub> · p	A <sub>3</sub>	A <sub>3</sub> · p	A <sub>4</sub>	A <sub>4</sub> · p
Kriterien	Gewichtung p								
K <sub>1</sub>	0,25	0,30	0,075	0,30	0,075	0,30	0,075	0,10	0,025
K <sub>2</sub>	0,25	0,06	0,015	0,28	0,070	0,55	0,138	0,11	0,028
K <sub>3</sub>	0,25	0,53	0,133	0,04	0,010	0,22	0,055	0,22	0,055
K <sub>4</sub>	0,25	0,06	0,015	0,12	0,030	0,26	0,065	0,56	0,140
			0,238		0,185		0,333		0,248

Der Vergleich verschiedener Alternativen wird beim FAR anhand ihrer ursprünglichen Werteinformationen ermöglicht, im Ergebnis kann eine Rangordnung ermittelt werden. „Hierfür erfolgt ein paarweiser Vergleich der Planungsalternativen auf deren Vorteilhaftigkeit. Die Abwägung geschieht, indem immer zwei Planungsalternativen auf deren relative Vor- und Nachteile untersucht werden.“<sup>429</sup> Das Verfahren bietet durch den paarweisen Vergleich den Vorteil, dass sich der Entscheider kritisch mit jeder Alternative auseinandersetzen muss. Jedoch führt dieser Umstand auch dazu, dass bei einer Vielzahl von Alternativen und Kriterien ein hoher Abwägungsaufwand entsteht. Bei  $x$  Alternativen ergeben sich  $x * (x-1) / 2$  paarweise Vergleiche. Aus 4 betrachteten Alternativen ergeben sich somit  $4 * 3 / 2 = 6$  Vergleiche.

„Es erfordert sehr viel Sorgfalt, immer die gleichen Wertigkeiten bei der Abwägung zu verwenden. Geschieht dies nicht, d.h. die Entscheidungsträger ändern während der Abwägung bewusst oder unbewusst ihre Wertvorstellungen), können sich sehr leicht Zirkelbezüge bilden und die Abwägungsentscheidungen werden inkonsistent und unlogisch. [Die Anwendung des FAR empfiehlt sich daher nur, wenn eine geringe Anzahl von Kriterien und Alternativen gegeneinander abgewogen werden muss, da nur dann] [...] die Übersichtlichkeit über den gesamten Abwägungsprozess gegeben ist.“<sup>430</sup>

### Verfahrensablauf

Der Verfahrensablauf lässt sich vereinfacht in fünf Schritten darstellen (*siehe Abbildung 5-08*).



**Abbildung 5-08:** Hierarchie des FAR<sup>431</sup>

Wie bereits in den Kapiteln NWA und AHP wird auch für das FAR der Verfahrensablauf in Anlehnung an ein Beispiel nach Leitl<sup>432</sup> erläutert.

<sup>429</sup> Vgl. Rau (2005), S. 137

<sup>430</sup> Vgl. ebenda, S. 138 f.

<sup>431</sup> aus Plenker (2003), S. 112

<sup>432</sup> Vgl. Leitl (2012), S. 54-56

**1. Schritt:** Zuerst wird die Ergebnismatrix, beim FAR auch als **Wirkungsmatrix** bezeichnet, mit den Sanierungsverfahren (Alternativen) und den Kriterien erstellt. In *Tabelle 5-42* sind nochmal die Eingangsdaten des bisherigen Beispiels dargestellt.

**Tabelle 5-42:** Ergebnismatrix beim FAR

Alternativen \ Kriterium	A <sub>1</sub> Injektionsverf.	A <sub>2</sub> Einzelrohr-Lining	A <sub>3</sub> Berstlining	A <sub>4</sub> Close-Fit-Lining
K <sub>1</sub> Eignung Schadensart	xxx	xxx	xxx	xx
K <sub>2</sub> Mittl. Nutzungsdauer	25 – 35 Jahre	70 – 80 Jahre	80 – 100 Jahre	40 – 50 Jahre
K <sub>3</sub> Einfluss auf Hydraulik	kein Einfluss	groß	gering	gering
K <sub>4</sub> Direkte Kosten	412 – 603 €	180 – 230 €	300 – 450 €	110 €

**2. Schritt:** Da der Aufwand des paarweisen Vergleichs mit jeder Alternative steigt, ist es von Vorteil, zu prüfen, ob durch **K.O.-Kriterien** ein Teil der Alternativen eliminiert werden kann. Ein solches K.O.-Kriterium kann in der Sanierungsplanung z.B. die Eignung des Verfahrens für einen bestimmten Rohrdurchmesser oder die Präferenz eines Entscheiders für eine Mindestnutzungsdauer von 40 Jahren sein. Hierdurch würde dann das Verfahren A<sub>1</sub> aufgrund der geringeren Nutzungsdauer (25-35 Jahre) eliminiert werden. Die Alternative für den nachfolgenden Paarvergleich entfällt und verringert so den Arbeitsaufwand.

**3. Schritt:** Im anschließenden dritten Schritt findet die **Dominanzprüfung** statt. Hierzu werden die Alternativen paarweise hinsichtlich der Kriterien auf ihre Vorteilhaftigkeit, also auf die Dominanz eines der beiden Verfahren, geprüft.

**Tabelle 5-43:** Vorteile (V<sub>i</sub>) – Nachteile (N<sub>i</sub>) – Tabelle beim FAR

Kriterien	A <sub>1</sub> /A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> /A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub> /A <sub>4</sub>	A <sub>2</sub> /A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> /A <sub>4</sub>	A <sub>3</sub> /A <sub>4</sub>
K <sub>1</sub>	0	0	V <sub>A1</sub>	0	V <sub>A2</sub>	V <sub>A3</sub>
K <sub>2</sub>	N <sub>A1</sub>	N <sub>A1</sub>	N <sub>A1</sub>	N <sub>A2</sub>	V <sub>A2</sub>	V <sub>A3</sub>
K <sub>3</sub>	V <sub>A1</sub>	V <sub>A1</sub>	V <sub>A1</sub>	N <sub>A2</sub>	N <sub>A2</sub>	0
K <sub>4</sub>	N <sub>A1</sub>	N <sub>A1</sub>	N <sub>A1</sub>	N <sub>A2</sub>	N <sub>A2</sub>	N <sub>A3</sub>
Ergebnis	A <sub>2</sub> > A <sub>1</sub> (?)	A <sub>3</sub> > A <sub>1</sub> (?)	A <sub>1</sub> = A <sub>4</sub> (?)	A <sub>3</sub> > A <sub>2</sub>	A <sub>2</sub> = A <sub>4</sub> (?)	A <sub>3</sub> > A <sub>4</sub> (?)

**4. Schritt:** Aus *Tabelle 5-43* wird deutlich, dass Verfahren A<sub>3</sub> das Verfahren A<sub>2</sub> dominiert. Somit muss A<sub>2</sub> in der Rangfolge auf jeden Fall hinter A<sub>3</sub> stehen. Die anderen **Alternativenvergleiche**, die keine eindeutige Dominanz aufweisen, müssen nun detaillierter betrachtet werden. Hierzu werden die gesamten relativen Vorteile gegen die gesamten relativen Nachteile des anderen Verfahrens abgewogen (*siehe Abbildung 5-09*).



	<table><tr><th>A<sub>1</sub></th><th>A<sub>2</sub></th></tr><tr><td>K<sub>1</sub></td><td>xxx</td></tr><tr><td>K<sub>2</sub></td><td>30</td></tr><tr><td>K<sub>3</sub></td><td>nein</td></tr><tr><td>K<sub>4</sub></td><td>412 – 603</td></tr></table>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	K <sub>1</sub>	xxx	K <sub>2</sub>	30	K <sub>3</sub>	nein	K <sub>4</sub>	412 – 603		<table><tr><th>A<sub>1</sub></th><th>A<sub>3</sub></th></tr><tr><td>K<sub>1</sub></td><td>xxx</td></tr><tr><td>K<sub>2</sub></td><td>30</td></tr><tr><td>K<sub>3</sub></td><td>nein</td></tr><tr><td>K<sub>4</sub></td><td>412 – 603</td></tr></table>	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	K <sub>1</sub>	xxx	K <sub>2</sub>	30	K <sub>3</sub>	nein	K <sub>4</sub>	412 – 603		<table><tr><th>A<sub>1</sub></th><th>A<sub>4</sub></th></tr><tr><td>K<sub>1</sub></td><td>xxx</td></tr><tr><td>K<sub>2</sub></td><td>30</td></tr><tr><td>K<sub>3</sub></td><td>nein</td></tr><tr><td>K<sub>4</sub></td><td>412 – 603</td></tr></table>	A <sub>1</sub>	A <sub>4</sub>	K <sub>1</sub>	xxx	K <sub>2</sub>	30	K <sub>3</sub>	nein	K <sub>4</sub>	412 – 603
A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>																																		
K <sub>1</sub>	xxx																																		
K <sub>2</sub>	30																																		
K <sub>3</sub>	nein																																		
K <sub>4</sub>	412 – 603																																		
A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>																																		
K <sub>1</sub>	xxx																																		
K <sub>2</sub>	30																																		
K <sub>3</sub>	nein																																		
K <sub>4</sub>	412 – 603																																		
A <sub>1</sub>	A <sub>4</sub>																																		
K <sub>1</sub>	xxx																																		
K <sub>2</sub>	30																																		
K <sub>3</sub>	nein																																		
K <sub>4</sub>	412 – 603																																		
Erg.:	A <sub>2</sub> gewinnt aufgrund der längeren Nutzungsdauer und der geringeren Kosten		A <sub>3</sub> gewinnt aufgrund der längeren Nutzungsdauer und der geringeren Kosten		A <sub>4</sub> gewinnt, da die Querschnittsred. rechnerisch nicht relevant wird.																														
	<table><tr><th>A<sub>2</sub></th><th>A<sub>3</sub></th></tr><tr><td>K<sub>1</sub></td><td>xxx</td></tr><tr><td>K<sub>2</sub></td><td>75</td></tr><tr><td>K<sub>3</sub></td><td>groß</td></tr><tr><td>K<sub>4</sub></td><td>180 – 230</td></tr></table>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	K <sub>1</sub>	xxx	K <sub>2</sub>	75	K <sub>3</sub>	groß	K <sub>4</sub>	180 – 230		<table><tr><th>A<sub>2</sub></th><th>A<sub>4</sub></th></tr><tr><td>K<sub>1</sub></td><td>xxx</td></tr><tr><td>K<sub>2</sub></td><td>75</td></tr><tr><td>K<sub>3</sub></td><td>groß</td></tr><tr><td>K<sub>4</sub></td><td>180 – 230</td></tr></table>	A <sub>2</sub>	A <sub>4</sub>	K <sub>1</sub>	xxx	K <sub>2</sub>	75	K <sub>3</sub>	groß	K <sub>4</sub>	180 – 230		<table><tr><th>A<sub>3</sub></th><th>A<sub>4</sub></th></tr><tr><td>K<sub>1</sub></td><td>xxx</td></tr><tr><td>K<sub>2</sub></td><td>90</td></tr><tr><td>K<sub>3</sub></td><td>gering</td></tr><tr><td>K<sub>4</sub></td><td>110</td></tr></table>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	K <sub>1</sub>	xxx	K <sub>2</sub>	90	K <sub>3</sub>	gering	K <sub>4</sub>	110
A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>																																		
K <sub>1</sub>	xxx																																		
K <sub>2</sub>	75																																		
K <sub>3</sub>	groß																																		
K <sub>4</sub>	180 – 230																																		
A <sub>2</sub>	A <sub>4</sub>																																		
K <sub>1</sub>	xxx																																		
K <sub>2</sub>	75																																		
K <sub>3</sub>	groß																																		
K <sub>4</sub>	180 – 230																																		
A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>																																		
K <sub>1</sub>	xxx																																		
K <sub>2</sub>	90																																		
K <sub>3</sub>	gering																																		
K <sub>4</sub>	110																																		
Erg.:	A <sub>3</sub> gewinnt, da die Nutzungsdauer länger ist und die Kosten nur leicht höher sind.		A <sub>2</sub> gewinnt, da die ND länger ist, die Kosten sind nur leicht höher und die Querschnittsred. wird rechnerisch nicht relevant.		A <sub>3</sub> gewinnt aufgrund der deutlich längeren Nutzungsdauer.																														

**Abbildung 5-09:** Paarweiser Vergleich der Alternativen beim FAR

**5. Schritt:** Die Abwägung der Alternativen erfolgt in *Abbildung 5-09* durch farbliche Kennzeichnung. Hierbei steht „grün“ für die vorteilhaftere, „rot“ für die benachteiligte und „grau“ für gleichwertige Varianten. Anhand der detaillierten Vergleiche erhält man die endgültige **ordinale Rangordnung**, im Beispiel mit dem Ergebnis:  $A_3 > A_2 > A_4 > A_1$ .

Wie sich zeigt, kann eine Nachvollziehbarkeit im FAR nur erreicht werden, wenn für jeden Abwägungsvorgang konsequent die Entscheidung dokumentiert und begründet wird. Nur so ist ein Einblick in das Werturteil des Entscheiders möglich und schließt Manipulationen bei der Abwägung aus.<sup>433</sup>

Abschließend zeigt *Tabelle 5-44* die Zusammenfassung der Ergebnisse aus den *Kapiteln 5.4.2 - 5.4.4*. Die drei betrachteten Verfahren NWA, AHP und FAR führen zur gleichen Rangfolge bezüglich der im Beispiel betrachteten Handlungsalternativen.

<sup>433</sup> Vgl. Rau (2006), S. 139

**Tabelle 5-44:** Zusammenfassung der Ergebnisse der betrachteten Modelle

Rangfolge	Verfahren				
	NWA		AHP		FAR
1.	A <sub>3</sub>	8,58	A <sub>3</sub>	0,365	A <sub>3</sub>
2.	A <sub>2</sub>	6,69	A <sub>2</sub>	0,231	A <sub>2</sub>
3.	A <sub>4</sub>	6,67	A <sub>4</sub>	0,208	A <sub>4</sub>
4.	A <sub>1</sub>	6,00	A <sub>1</sub>	0,196	A <sub>1</sub>

## 5.5 Entscheidungstheorie – Fazit

Die Entscheidungstheorie befasst sich mit dem Entscheidungsverhalten von Individuen. Sie lässt sich dabei in zwei Ansätze unterscheiden. Zum einen die deskriptive und zum anderen die normative bzw. präskriptive *Entscheidungstheorie*. Dieses Kapitel befasst sich mit dem normativen Ansatz. Dieser versucht, durch Vorgaben von Entscheidungsregeln (Normen), den Entscheider auf dem Weg zu einer rationalen Lösung seines Problems zu unterstützen. In der normativen Entscheidungstheorie geht man davon aus, dass allen Entscheidungsproblemen eine gemeinsame Struktur zugrunde liegt, wodurch sich jedes Problem durch ein Entscheidungsmodell abbilden lässt.

**Das Entscheidungsmodell beinhaltet die Ziele und Präferenzen des Entscheiders und bildet die Handlungsmöglichkeiten und Umwelteinflüsse des Entscheidungsproblems ab.** Entscheidungsprobleme lassen sich zudem in verschiedene Entscheidungsmerkmale unterteilen. Dies können z.B. die Anzahl der Entscheider, die Anzahl der Ziele oder auch Kenntnisse über bestimmte Eintrittswahrscheinlichkeiten der Umweltzustände sein. Insbesondere für Entscheidungsprobleme mit mehreren Zielen, wurden multikriterielle Entscheidungsverfahren (MCDM) entwickelt. Diese lassen sich noch weiter unterteilen in Verfahren der mathematischen Programmierung, Outranking-Verfahren und die **multikriteriellen Bewertungsverfahren**.

„Aufgrund der Vielzahl an Kriterien, welche sich im Zuge einer Projektplanung zwangsläufig ergeben, ist demnach die Nutzung wissenschaftlich fundierter Bewertungsmethoden aus dem Bereich der multikriteriellen Entscheidungstheorie notwendig.“<sup>434</sup>

Bezogen auf die Anwendung der Entscheidungstheorie auf die Sanierungsplanung kommunaler Entwässerungsnetze erweist sich der Einsatz von entscheidungsunterstützenden Verfahren bei der Auswahl des bestgeeignetsten Sanierungsverfahrens aufgrund der Komplexität des Problems als vorteilhaft. Die enorme Komplexität entsteht durch die zu berücksichtigenden Ziele, die dynamischen Entscheidungssituationen und der hohen Zahl an Entscheidungskriterien und Handlungsalternativen.

Um als Entscheidungsunterstützung hilfreich sein zu können, müssen Anforderungen definiert werden, die ein multikriterielles Bewertungsverfahren erfüllen sollte. Die Anforderungen an ein

<sup>434</sup> Vgl. GSTT-Information 25-1 (2011), S. 6

Entscheidungsmodell in der Sanierungsplanung wurden in *Kapitel 5.4.1* definiert. Aus der Vielzahl der multikriteriellen Bewertungsverfahren wurden in den *Kapiteln 5.4.2 - 5.4.4* die in der Praxis am häufigsten angewandten und bekannten Verfahren, Nutzwertanalyse, Analytic Hierarchie Prozess und formalisiertes Abwägungs- und Rangordnungsverfahren hinsichtlich ihrer Eignung für die erforderlichen Anforderungen beschrieben. In *Kapitel 6.3* folgen der Vergleich der genannten multikriteriellen Bewertungsverfahren und die Festlegung auf eines der Modelle zur Anwendung in der Sanierungsplanung von Entwässerungsnetzen.



## 6. Optimierung der Sanierungsplanung

### 6.1 Optimierungspotential – Ein Überblick

#### 6.1.1 Optimierungsbegriff

Allgemein geht es bei Optimierung darum, Prozesse zu verändern, um ein unter vorgegeben Gesichtspunkten besseres Ergebnis zu erhalten.<sup>435</sup>

Bei einem Vorgehen, das als Optimierung bezeichnet wird, sind in der Regel verschiedenartige, gegebenenfalls auch konkurrierende Anforderungen zu beachten. Daher ist Optimierung und eine daran ausgerichtete Strategie im Gegensatz zu Maximierung stets mehrdimensional angelegt. In diesem Sinne geht es bei Optimierung darum, verfügbare Handlungsmöglichkeiten, Techniken, Informationen und Ressourcen wirksam einzusetzen, um im Rahmen vorgegebener Ziele ein Ergebnis herbeizuführen, welches im Hinblick auf die zu beachtenden Anforderungen zum gegebenen Zeitpunkt ein Optimum darstellt.

In komplexen Zusammenhängen ist eine theoretisch fundierte und systematisch angelegte Vorgehensweise geboten, um eine am Optimum ausgerichtete Entscheidung herzuleiten. Der Anwendung mathematischer Optimierungsmodelle sind hierbei allerdings enge Grenzen gesetzt. „Voraussetzung für die Nutzung dieser Hilfsmittel ist die im mathematischen Sinne präzise Formulierung einer entsprechenden Aufgabenstellung, d.h. die Verfügbarkeit mathematischer Ausdrücke für die Restriktionen, die Auswirkungen und die Zielsetzungen der gesuchten Entscheidungen. Die präzise Formulierung einer Aufgabenstellung und deren Lösung durch ein mathematisches Optimierungsmodell sind grundsätzlich sehr komplex.“<sup>436</sup>

Hinzu kommt, dass die Entwässerungsnetze der Kommunen gleichsam als Unikate gelten müssen. Jedes einzelne Entwässerungsnetz in Deutschland weist unterschiedliche Randbedingungen (z.B. topographische Verhältnisse, Art des Entwässerungssystems, Zustand des Systems) und unterschiedliche Vorgaben durch den Entwässerungsbetrieb in Bezug auf die Sanierungsziele auf. Beide Aspekte besitzen wesentliche Relevanz für die Sanierungsplanung. Demzufolge ist jede Sanierungsplanung einer Kommune ein weitgehend singuläres Ereignis. Der Vergleich mit der Sanierungsplanung anderer Kommunen ist kaum möglich. Diese fehlende Vergleichbarkeit lässt die Formulierung eines im mathematisch strengen Sinn korrekten Optimierungsmodells nicht zu.

Im Rahmen dieser Arbeit wird ein anderer Ansatz vorgeschlagen, der einen systematischen Entscheidungsprozess für die Sanierungsplanung begründen soll. Er zielt darauf ab, ausgehend von den gesetzten Anforderungen an ein Entwässerungsnetz, den gegebenen Randbedingungen vor Ort und den Sanierungszielen der Kommune, die wesentlichen Strategieelemente der Sanierung zu

---

<sup>435</sup> Vgl. Haussmann (1995), S. 75

<sup>436</sup> Vgl. Coburg (2005), S. 90

identifizieren und aus der Beachtung dieser Anforderungen heraus die Wahl geeigneter Sanierungsverfahren auf Haltungsebene zu treffen. Die in diesem Sinne vollzogene Optimierung wird als strategische Sanierungsplanung verstanden.

### 6.1.2 Optimierungsansätze

Die Sanierungsplanung umfasst mehrere Arbeitsschritte. Beginnend bei der Vorplanung oder Voruntersuchung wird im Anschluss die Zustandserfassung durch Kamerabefahrung durchgeführt. Nach Feststellung des Ist-Zustands wird dieser entsprechend beurteilt und bewertet. Aufgrund der daraus resultierenden Ergebnisse werden ganzheitliche Lösungsansätze unter baulichen, hydraulischen, umweltrelevanten, betrieblichen und betriebswirtschaftlichen Aspekten erarbeitet.

Der „operative“ Sanierungsplan enthält nun vorerst eine Auflistung an Maßnahmen, die es auszuführen gilt. Zur Prioritätensetzung werden die dringendsten Schäden lokalisiert, wobei diese durch finanzielle und zeitliche Restriktionen nur stufenweise abgearbeitet werden können. Die so entstehende Prioritätenliste legt die Rangfolge auszuführender Sanierungsmaßnahmen fest, wobei noch keine konkreten Sanierungsverfahren in der Prioritätenliste angegeben sind. Diese müssen abschließend für jede schadhafte Haltung geprüft und festgelegt werden.

In dieser Arbeit werden die einzelnen Arbeitsschritte der Sanierungsplanung auf **Optimierungspotential** geprüft. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei

1. auf dem **Strategieansatz für eine optimierte multikriterielle Sanierungsstrategie** (Betrachtung der Netzebene),
2. auf der **Entwicklung eines geeigneten Bewertungsverfahrens** zur Festlegung geeigneter Sanierungsverfahren auf Haltungsebene (multikriterielle Verfahrenswahl) und
3. auf der **Verknüpfung zwischen Netzebene und Haltungsebene**.

Weitere Teilaspekte sollen untersucht werden, um insgesamt eine Verbesserung der Vorgehensweise im Sinne einer wirtschaftlichen und nachhaltigen Sanierungsplanung zu erreichen.

## 6.2 Der Strategieansatz als Kernelement einer optimierten Sanierungsplanung

### 6.2.1 Allgemeines

Unter Strategie wird im Rahmen dieser Arbeit eine Lektorientierung und damit zusammenhängend ein Handlungskonzept verstanden, um bestimmte Ziele zu erreichen. Die Wahl der geeigneten Strategie beruht auf einer Analyse der Gesamtsituation und der mittel- und längerfristigen Anforderungen und absehbaren Entwicklungen. Aus einer Strategie lassen sich für unterschiedliche konkrete Anforderungen die notwendigen Entscheidungen und Maßnahmen herleiten, um das anvisierte Ergebnis den jeweiligen Umständen und Gegebenheiten entsprechend zu realisieren. Grundsätzlich können in eine Gesamtstrategie mehrere strategische Grundorientierungen einfließen, so dass von einem **Strategiemix** gesprochen werden kann.

Begriffsdefinitionen und Erläuterungen in Normung und Fachliteratur verweisen im Zusammenhang „ganzheitlicher“ und „genereller“ Lösungen auf grundlegende, strategische Elemente der Sanierungsplanung. Faktisch folgen die Kommunen bei ihren Entscheidungen zur Sanierungsplanung, mehr oder weniger bewusst und ausformuliert strategischen Orientierungen und hierbei zumeist auch einem Strategiemix.

Bislang fehlt allerdings eine konkrete, auf die praktische Umsetzung bezogene Anleitung und Beschreibung, welche Strategien unter welchen Voraussetzungen einzusetzen sind, und wie die systematische Verknüpfung der beiden Ebenen, strategische Grundorientierungen und konkrete Sanierungsplanung, in der Praxis vollzogen werden kann. In dieser Hinsicht wird im Rahmen dieser Arbeit ein **Entscheidungsprozess zur Wahl von Strategien** entwickelt und in *Kapitel 6.2.3* vorgestellt. Die Basis hierfür bilden die Grundstrategien nach DWA-M 143-14:2007.

Im Folgenden werden in *Tabelle 6-01* in übersichtlicher Darstellung die Leitgedanken der Grundstrategien zusammengefasst. Ihre ausführliche Erläuterung findet sich in *Kapitel 4.3.2*.

**Tabelle 6-01:** Leitgedanke der Grundstrategien

Grundstrategie	Leitgedanke / Kurzbeschreibung
„Feuerwehrstrategie“	Unplanmäßige (korrektive), ereignisorientierte Vorgehensweise, die ein Handeln nur bei Versagen des Systems im baulichen und/oder betrieblichen Sinne auslöst
Funktionsbezogene Strategie	Verfolgt eine Veränderung der generellen Struktur und Funktionalität des Entwässerungsnetzes, hervorgerufen durch wesentliche Änderungen der Randbedingungen
Gebietsbezogene Strategie	Ganzheitliche Sanierungsmaßnahme zur Wiederherstellung oder Verbesserung von vorhandenen Teilentwässerungsnetzen, wobei sowohl hydraulische und bauliche als auch umweltrelevante Aspekte berücksichtigt werden
Mehrspartenstrategie	Bestreben, erforderliche Sanierungsmaßnahmen an Kanalabschnitten mit denen an benachbarten, im Straßenkörper angeordneten Sparten räumlich und zeitlich zusammenzufassen und in einer Baumaßnahme auszuführen
Substanzwertstrategie	Strategie, die als oberste Priorität den Erhalt des Substanzwertes hat und darauf ausgerichtet ist, den Substanzverzehr auf Netzebene zu kontrollieren und durch Budgetierung verstetigter Sanierungsinvestitionen zu steuern
Zustandsstrategie	Das Kanalnetz wird in einem definierten Zeitraum vom Ist-Zustand über Zwischenzustände in einen definierten Soll-Zustand überführt. Die Sanierung erfolgt nach Zustandsklassen

Für die Festlegung des jeweiligen Strategieansatzes (so genannter „Strategiemix“) ist nicht ohne Bedeutung, das **Verhältnis der einzelnen Grundstrategien zueinander** zu beachten. Sie können sowohl harmonisieren als auch im Widerspruch zueinander stehen (*siehe Kapitel 6.2.2*). Auch muss der **Hierarchiestruktur der Grundstrategien** Rechnung getragen werden (*siehe Kapitel 6.2.5*). Da zur Festlegung einzelner Grundstrategien darüber hinaus verschiedene Entscheidungskriterien existieren, wird im Rahmen dieser Arbeit für die Bildung eines Strategiemix auch von einer **„multikriteriellen Sanierungsstrategie“** gesprochen. Um einer Kommune die Festle-

gung eines eigenen Strategiemix zu erleichtern, soll eine **„Basisvariante“** definiert werden, die als generelles Handlungsprogramm verstanden und individuell angepasst werden kann (*siehe Kapitel 6.2.6*).

Das hier vorgeschlagene Konzept, Strategiewahl mit der konkreten operativen Sanierungsplanung zu verknüpfen, kann als strategische Sanierungsplanung bezeichnet werden. Diese mündet im letzten Arbeitsschritt in eine Liste von Sanierungsmaßnahmen, die eine der Strategie bzw. dem Strategiemix angepasste Wahl baulicher Sanierungsverfahren beinhaltet.

### **Exkurs: „Optimierungshinweis“**

In der Sanierungsplanung müssen als Ausgangsbasis die durch die Zustandserfassung lokalisierten schadhafte Haltungen erfasst werden. Die Rangfolge zur Sanierung entsprechender Schäden wird durch die so genannte „Prioritätenliste“ je nach Schadensqualität festgelegt.

Bei der zustandsorientierten Klassifizierung einer Haltung kann es passieren, dass bei vielen kleineren Schäden durch die Beurteilung der Haltung nach dem schwersten Einzelschaden eine geringe Sanierungspriorität festgestellt wird, obwohl insgesamt der Substanzwert (Abnutzungsvorrat) durch die zahlreichen kleineren Schäden fast vollständig aufgebraucht sein kann, und dringend eine Maßnahme zur Erneuerung des Substanzwertes notwendig wäre.

Es ist demnach erforderlich, die Ausprägung und die Verteilung aller Schäden einer Haltung in die Klassifizierung mit einzubeziehen, um den Substanzwert einer Haltung durch die Zustandsbeurteilung entsprechend abzubilden. Aus dieser Form der Beurteilung resultiert eine Prioritätenliste, die den Zustand der Haltung vollständig erfasst. Eine solche zustandsorientierte und substanzwertorientierte Beurteilung stellt die Basis einer strategischen Sanierungsplanung dar.

Dies ist mit verschiedenen neueren Bewertungsmodellen möglich, die den Substanzwert bei der Zustandsbewertung berücksichtigen (z.B. STATUS Kanal, Bietigheimer Modell). Die Anwendung eines solchen Bewertungsmodells soll als Optimierungshinweis im Zusammenhang dieser Arbeit dienen und u.a. als Voraussetzung für eine strategische Sanierungsplanung gelten.<sup>437</sup>

## **6.2.2 Verhältnis der Grundstrategien zueinander**

Zur Festlegung eines Strategiemix können sich Kommunen ausgehend von ihren individuellen Sanierungszielen einzelner Grundstrategien bedienen. Diese definieren auf Netzebene die Grundsätze einer strategischen Sanierungsplanung. Im Rahmen einer multikriteriellen Sanierungsstrategie muss jede Kommune einen solchen „Strategiemix“, bestehend aus unterschiedlichen Grundstrategien, festlegen. Dabei gilt es zu beachten, dass sich einzelne Grundstrategien gegenseitig beeinflussen können.

---

<sup>437</sup> siehe hierzu auch Körkemeyer / Hochstrate / Trujillo (2004)



Im Folgenden wird jede einzelne Grundstrategie bezüglich ihrer Auswirkung und möglichen Beeinflussung gegenüber anderen Grundstrategien im Rahmen der Festlegung eines Strategiemix untersucht. Welche Konsequenzen eine vorhandene Abhängigkeit zwischen einzelnen Grundstrategien nach sich ziehen kann, wird im Anschluss erläutert.

### **Beeinflussung durch Wahl der „Feuerwehrstrategie“**

Unplanmäßig und unvorhergesehen auftretende Schäden müssen zur Gefahrenabwehr kurzfristig saniert werden. Aufgrund der gesetzlichen Vorgaben gibt es keinen Planungsspielraum für die Ausführung von Maßnahmen. Es muss vielmehr ungeachtet jeglicher strategischen Sanierungsplanung spontan eingegriffen werden. Die „Feuerwehrstrategie“ hat demnach Einfluss auf alle anderen Grundstrategien, da die Maßnahmen zur Gefahrenabwehr die Maßnahmen geplanter Sanierungen unterbrechen. „Anzahl und Volumen der Feuerwehr-Sanierungen sollten durch vorausschauende Planung minimiert werden [...] [, da] sie eine hohe Einsatzbereitschaft von Reparaturtrupps [erfordert] und [...] die Budgetplanung sehr problematisch [macht].“<sup>438</sup> Trotz alledem sollte die „Feuerwehrstrategie“ als korrektive Maßnahme zur Gefahrenabwehr stets vorgesehen werden.

### **Beeinflussung durch Wahl der funktionsbezogenen Strategie**

„Funktionsbezogene Strategien dienen der grundsätzlichen Änderung der Netzstruktur. Ihr Nutzen kommt in der Regel langfristig zum Tragen. Kurzfristig stehen sie meist in einem gewissen Konkurrenzverhältnis zu Zielen der Zustandsverbesserung oder zu gebietsbezogenen Zielen.“<sup>439</sup> Zum Einen sieht die funktionsbezogene Strategie **gebietsübergreifende Maßnahmen** vor und zum anderen nimmt sie **keine an Schadensklassen orientierte Sanierung** vor, sondern zielt auf komplette Umorientierungen von Teilnetzen.

Durch Änderung des Aufbaus des Entwässerungssystems wird die bisherige Entwässerungskonzeption hinfällig. Der verfahrenstechnische Aspekt rückt in den Vordergrund und erhält gegenüber der Einhaltung technischer und wirtschaftlicher Restnutzungsdauer Vorrang.<sup>440</sup> Durch Priorisierung funktionsorientierter Maßnahmen wird in der Regel eine **Verringerung des Substanzwertes** bewirkt, da Sanierungsmaßnahmen mit dem Zweck zur Änderung der Netzstruktur umgesetzt werden trotz noch vorhandener technischer und wirtschaftlicher Restnutzungsdauer.

### **Beeinflussung durch Wahl der gebietsbezogenen Strategie**

Die gebietsbezogene Strategie hat in zweierlei Hinsicht Auswirkung auf die Zustandsstrategie. Je nach Festlegung der Sanierungsmaßnahmen in einem Teilgebiet können die gebietsorientierten Maßnahmen mit den Ansätzen der Zustandsstrategie im Einklang oder im Widerspruch stehen. Steht eine **Sanierung nach Zustandsklassen im Teilgebiet im Vordergrund**, sind beide Strategien verträglich. Dies ist häufig der Fall, da der Finanzrahmen in der Regel keine Sanierung der

<sup>438</sup> Vgl. Kommentar zum DWA-M 143-14 (2007), S. 44

<sup>439</sup> ebenda

<sup>440</sup> Vgl. DWA-M 143-14 (2005), S. 25

baulichen Schäden in allen Zustandsklassen zulässt (je nach Größe des gewählten Teilgebietes). Sieht der gebietsorientierte Ansatz allerdings **in Teilbereichen eine vollständige Sanierung aller Zustandsklassen** vor, so widerspricht dies dem Ansatz der Zustandsstrategie, bei dem orientiert am Schadensbild nur schrittweise nach einzelnen Zustandsklassen saniert wird. Dieser Fall tritt insbesondere bei der Bekämpfung von Fremdwasser ein. Bei der sogenannten „Fremdwassereeliminierungsstrategie“ (als Sonderfall der gebietsbezogenen Strategie) sind alle Schäden, einschließlich der nachrangigen Schäden, dauerhaft zu beseitigen.

Nach DWA-M 143-14:2007 sollte die Anwendung der gebietsbezogenen Strategie immer mit der Mehrspartenstrategie kombiniert werden. Es existiert eine Korrelation dieser beiden Strategien ähnlich der Zustandsstrategie, allerdings mit umgekehrten Voraussetzungen. Widerspricht beim Beispiel „Fremdwasserproblematik“ das Beheben aller Zustandsklassen der Zustandsstrategie, so entspricht dies wiederum dem Mehrsparten-Ansatz, bei dem die anstehenden Maßnahmen durch **Sanierung sämtlicher Schadensklassen (als Erneuerungsmaßnahmen)** durchzuführen sind.

### **Beeinflussung durch Wahl der Mehrspartenstrategie**

Das Nutzen von Synergieeffekten mit entsprechender Einsparung von Baukosten resultiert aus dem Grundgedanken („Leitgedanken“), Eingriffe in den Straßenraum für lange Zeiträume zu vermeiden; bei der Mehrspartenstrategie sollten möglichst Schäden aller Zustandsklassen saniert werden. Diese Vorgehensweise steht allerdings im **Gegensatz zur Zustandsstrategie**, die eine wiederkehrende Bautätigkeit an ein und derselben Haltung aufgrund der sukzessiven Sanierung der Zustandsklassen präferiert.

Bei infrastrukturellen Gesamtmaßnahmen bieten sich aufgrund der offenen Bauweise Sanierungsverfahren der Erneuerung an. Dies führt zwangsläufig zu einer **Erhöhung des Substanzwertes** des Systems; „die Mehrspartenstrategie hat grundsätzlich positive Auswirkung auf die Substanzwertentwicklung“<sup>441</sup>. Der „positiven Auswirkung“ auf den Substanzwert kann nicht widersprochen werden. An dieser Stelle muss jedoch klar sein, dass durch das vorzeitige Erneuern von Netzabschnitten (z.B. durch Fremdbestimmung anderer Beteiligter) Nutzungsdauer und dementsprechend Substanzwert verschenkt werden.<sup>442</sup> Die Durchführung von Maßnahmen muss in diesen Fällen unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten abgewägt werden.

Innerhalb vorher festgelegter Gebiete soll die Mehrspartenstrategie **integraler Bestandteil der gebietsbezogenen Strategie** sein.<sup>443</sup> Im Sinne einer vollständigen Konzentration der Sanierungsmaßnahmen auf ein vorher definiertes Teilgebiet stehen die Grundsätze der Mehrspartenstrategie in Bezug auf effizienten Finanzmitteleinsatz (volkswirtschaftliche und z.T. betriebliche Kosteneinsparung durch Synergieeffekte) und das Sanieren der Schäden aller Zustandsklassen mit den Ansätzen der gebietsbezogenen Strategie in Einklang.

---

<sup>441</sup> Vgl. Milojevic et al. (2005b), S. 69

<sup>442</sup> Vgl. Kommentar zum DWA-M 143-14 (2007), S. 41

<sup>443</sup> ebenda

## Beeinflussung durch Wahl der Substanzwertstrategie

Die Substanzwertstrategie hat zum Ziel, einen sukzessiven Substanzverzehr frühzeitig zu erkennen, um präventive oder korrektive Maßnahmen zu entwickeln. Dabei dienen die Strategieansätze zwar zur Ableitung sinnvoller Sanierungsbudgets, unterstützen allerdings nicht die projektorientierte Budgetverwendung. Die Substanzwertstrategie stellt dementsprechend im Sinne des „Generationenvertrages“ keine eigenständige operative Strategie dar, sondern gibt übergeordnete Ziele vor, die mit Hilfe anderer Strategien umgesetzt werden. Es müssen weitere Strategieaussagen in der Sanierungsplanung zur operativen Prioritätsreihung für die Durchführung von Sanierungsmaßnahmen getroffen werden.<sup>444</sup> Dementsprechend hat die Wahl zur Substanzwertstrategie in erster Linie **keinen unmittelbaren Einfluss auf die Anwendung und Umsetzung einer der anderen Grundstrategien.**

## Beeinflussung durch Wahl der Zustandsstrategie

„Bei der Anwendung der Zustandsstrategie muss beachtet werden, dass, je nach gewähltem Schadensumfang, keine oder **nur geringe Substanz erhaltende oder erhöhende Wirkung** erzielt wird. [...] Durch die Anwendung einer am Schadensbild orientierten Zustandsstrategie kann einer Überalterung des Netzes meist nicht vorgebeugt werden. Insbesondere [...] muss damit gerechnet werden, dass nach Erreichen des Zwischenziels (z.B. Behebung aller dringendsten Schäden) mit konzentriert auftretenden Erneuerungen zu rechnen ist. Die nur am Schadensbild orientierte Zustandsstrategie kann damit nicht zur Entzerrung der in der Zukunft zwangsläufig erforderlichen Reinvestitionen beitragen, sondern verschärft sie. Es wird deshalb empfohlen, bei Anwendung der Zustandsstrategie neben dem Schadensbild auch weitere Kriterien wie Substanzwertentwicklung und gewählte Sanierungsart bei Betrachtung aller Schäden mit einzubeziehen. Zumindest sollte ein Zeitplan entwickelt werden, der die Finanzierung der Substanzwertstrategie berücksichtigt.“<sup>445</sup>

Die Wahl der Zustandsstrategie kann auch Einfluss auf die Umsetzung der Mehrspartenstrategie haben. Durch die Vorgabe, als erstes Zwischenziel die dringendsten Schadensfälle zu beheben, können in weiteren Zwischenschritten wiederkehrende Bautätigkeiten in einem Leitungsabschnitt möglich werden. Diese führen zwangsläufig zu einem **Verlust von Synergieeffekten**.<sup>446</sup> Die Zustandsstrategie hat dementsprechend einen Einfluss auf die Mehrspartenstrategie, die gerade den Aspekt wiederkehrender Bautätigkeit in kurzen zeitlichen Abständen an gleichen Leitungsabschnitten zwingend verhindern möchte.

Die Zustandsstrategie räumt der geordneten und gleichmäßigen Zustandsentwicklung im Gesamtnetz eine hohe Bedeutung ein. Eine **abschließende Sanierung einzelner Teilnetze wie im Fall einer gebietsbezogenen Strategie findet nicht statt**.<sup>447</sup> Dementsprechend hat die Zu-

<sup>444</sup> Vgl. a. a. O., S. 35 ff.

<sup>445</sup> Vgl. Milojevic et al. (2005b), S. 71

<sup>446</sup> Vgl. Kommentar zum DWA-M 143-14 (2007), S. 47

<sup>447</sup> Vgl. a. a. O., S. 40

standsstrategie einen stark negativen Einfluss auf die gebietsbezogene Strategie und kann im Extremfall auch im Widerspruch zu dieser stehen.

## Grafische Übersicht der Korrelationen

Da Zusammenhänge zwischen den einzelnen Grundstrategien bestehen, kann je nach Wahl einer Grundstrategie eine Wirkungs- oder Wechselwirkungsbeziehung entstehen, die im Extremfall für einen vollständigen Widerspruch oder für eine harmonische Ergänzung zweier oder mehrerer Strategien sorgt. Unter Einflussnahme oder Wechselwirkungsbeziehung wird die Unterbrechung und Änderung geplanter, operativer Sanierungsmaßnahmen auf Grundlage der neu hinzukommenden Strategieüberlegung durch Festlegung und Berücksichtigung einer weiteren, in der bisherigen Sanierungsplanung noch nicht berücksichtigten Grundstrategie verstanden. In *Tabelle 6-02* ist die Einflussnahme gewählter Grundstrategien übersichtlich dargestellt.

**Tabelle 6-02:** Matrix der Wirkungsbeziehung gewählter Grundstrategien

Einflussnahme gewählter Grundstrategien	kann Einfluss haben auf...	"Feuerwehrstrategie"	Funktionsbezogene Strategie	Gebietsbezogene Strategie	Mehrspartenstrategie	Substanzwertstrategie	Zustandsstrategie
Die Wahl der...							
"Feuerwehrstrategie"			-	-	--	-	-
Funktionsbezogene Strategie		o		-	o	-	-
Gebietsbezogene Strategie		o	o		++	o	+/-
Mehrspartenstrategie		o	o	+		+	-
Substanzwertstrategie		o	o	o	o		o
Zustandsstrategie		o	o	-	--	-	

### Legende:

- "o" = indifferent, kein Einfluss
- "-" = negativer Einfluss (widersprüchliche Leitgedanken)
- " = besonders negativer Einfluss
- +" = positiver Einfluss (Leitgedanken harmonisieren)
- ++" = besonders positiver Einfluss
- +/-" = kann sowohl positiven als auch negativen Einfluss haben

**Beispiel:** Die Wahl der „Gebietsbezogenen Strategie“ hat einen Einfluss auf die „Mehrspartenstrategie“ und die „Zustandsstrategie“. Verfolgt eine Kommune das Ziel, neben der vollständigen Sanierung von Teilgebieten auch alle operativen Maßnahmen mit den Maßnahmen anderer Sparten zu überlagern und den Gesamtzustand des Netzes sukzessive zu verbessern, so muss folgendes bekannt sein: Unter Anwendung der Fremdwassereliminationsstrategie als Sonderfall der gebietsbezogenen Strategie sollen alle Schäden vollständig und dauerhaft beseitigt werden. Dies steht im Konsens zur Anwendung der Mehrspartenstrategie, die durch die Überlagerung der Maßnahmen z.B. auch mit den Straßenbaulastträgern, die Durchführung von Erneuerungsmaßnahmen und somit auch die dauerhafte Beseitigung aller Schäden forciert und favorisiert. Die Zustandsstrategie

steht allerdings im Widerspruch zur gebietsbezogenen Strategie, da gerade die Beseitigung von Fremdwasser in Teilgebieten eine sofortige Sanierung aller Schadensklassen durch die angewendeten Maßnahmen vorsieht und keine sukzessive Verbesserung der Schäden über mehrere Jahre duldet. Läge keine Fremdwasserproblematik in diesem Teilgebiet vor, so könnte die Zustandsstrategie mit den anderen Strategien harmonisieren, indem eine sukzessive, an Zustandsklassen orientierte Sanierung des Teilgebietes erfolgen würde. Auch die Mehrspartenstrategie wäre „kompatibel“, da diese nicht zwingend Erneuerungsverfahren vorsehen muss. Es kann auch geprüft werden, ob die Überlagerung von Maßnahmen auch mit Reparatur- und Renovierungsverfahren möglich ist.

### **Möglichkeiten zur Modifizierung der Strategien in der Anwendung**

Dass Grundstrategien im Widerspruch zueinander stehen, heißt nicht zwingend, dass sie gemeinsam keinen Platz im Strategiemix einer Kommune finden können. Zum einen gibt es immer die Möglichkeit, eine Modifizierung einzelner Strategien vorzunehmen. Dies bedeutet, dass eine Kommune nicht stringent den Leitgedanken einer Strategie verfolgen muss, sondern auch davon abweichen kann.

*Zwei Beispiele im Exkurs:*

*1. Der Leitgedanke der Mehrspartenstrategie ist, Eingriffe in den Straßenraum für längere Zeiträume zu vermeiden. Es sollen möglichst die Schäden aller Zustandsklassen saniert werden. Dieser Leitgedanke steht im Widerspruch zur Zustandsstrategie, die dem Leitgedanken einer wiederkehrenden Bautätigkeit aufgrund der sukzessiven Sanierung der Zustandsklassen folgt. Trotzdem können beide Strategien harmonisieren. Liegt der sukzessiven Sanierung der Schäden nach Zustandsstrategie die permanente Überlegung zur Verknüpfung mit den Baumaßnahmen anderer Infrastruktureilnehmer zugrunde, so ergänzt die Mehrspartenstrategie die Zustandsstrategie. Man spricht von einer „**Modifizierung der Zustandsstrategie**“<sup>448</sup>.*

*2. Der Leitgedanke der funktionsbezogenen Strategie ist, die Veränderung der generellen Struktur und Funktionalität des Netzes aufgrund wesentlicher Änderungen der Randbedingungen des Systems. Da hierbei in der Regel Maßnahmen trotz noch vorhandener technischer und wirtschaftlicher Restnutzungsdauer umgesetzt werden, steht dieser Leitgedanke im Widerspruch zur Substanzwertstrategie im Sinne des Substanzwerterhalts. Funktionsorientierte Maßnahmen können allerdings auch unter Berücksichtigung substanzwerterhaltenden Aspekte durchgeführt werden. In diesem Fall kommt es in der Regel zu keinem Substanzwertverlust, sondern zumindest zu einem Erhalt des Substanzwertes. Man spricht von einer „**Modifizierung der funktionsbezogenen Strategie**“.*

Zum anderen können zu jeder Zeit die Leitgedanken verschiedener Grundstrategien bei der Umsetzung von Maßnahmen kurzfristig „ausgeblendet“ werden und in Einzelfällen kann aus wirtschaftlichen Gründen gegen einen Leitgedanken gehandelt werden. Dies zu entscheiden, liegt im

<sup>448</sup> Vgl. Kommentar zum DWA-M 143-14 (2007), S. 41

Ermessen einer Kommune. Ein Beispiel: Im Rahmen des Mehrsparten-Ansatzes kommt es zu infrastrukturellen Gesamtmaßnahmen, bei denen sich aufgrund der offenen Bauweise Erneuerungsmaßnahmen anbieten. Oftmals wird eine Erneuerung im Zuge einer solchen Baumaßnahme noch vor Ablauf der eigentlichen Nutzungsdauer durchgeführt. Noch nicht abgeschriebene Substanz wird dadurch „vernichtet“, es wird Substanzwert verschenkt. Die Durchführung einer solchen Maßnahme muss unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten abgewägt werden. Die Entscheidung liegt allein bei dem Entwässerungsbetrieb.

### **Beispiel eines Strategiemix mit Modifikation**

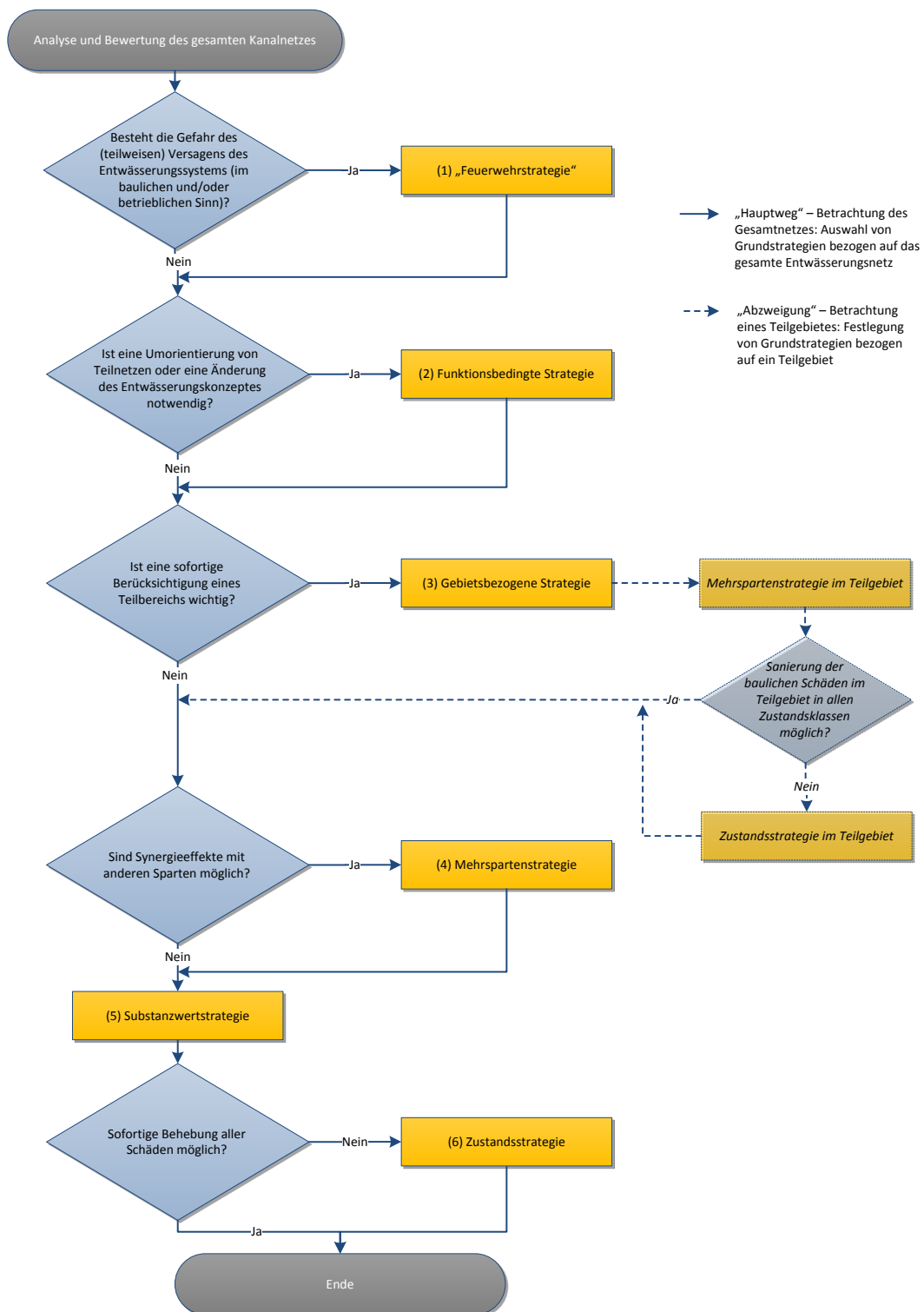
Der Strategiemix einer Kommune soll aus gebietsbezogener Strategie, Zustandsstrategie und Mehrspartenstrategie bestehen. In der Anwendung der gebietsbezogenen Strategie sieht die Kommune die Sanierung vom Ist-Zustand über Zwischenzustände in einen definierten Soll-Zustand in einem Teilgebiet vor. Aus Kostengründen muss auf die vollständige Sanierung aller Zustandsklassen in diesem Gebiet verzichtet werden. Diese gebietsbezogene Vorgehensweise nach sukzessiver Abarbeitung der Zustandsklassen steht grundsätzlich im Widerspruch zur Mehrsparten-Sanierung. Allerdings fordert die Mehrspartenstrategie nicht zwingend die Durchführung von Erneuerungsmaßnahmen. Es kann vielmehr auch die Möglichkeit geprüft werden, die Umsetzung von Reparatur- und Renovierungsmaßnahmen mit den Baumaßnahmen anderer Sparten zu kombinieren. Durch eine Modifizierung der Mehrspartenstrategie entsteht ein harmonischer Strategiemix aus den drei Grundstrategien.

### **6.2.3 Entscheidungsprozess zur Wahl von Sanierungsstrategien**

Maßgebend für die Festlegung einzelner Grundstrategien sind die Sanierungsziele, die von den Betreibern individuell für ein Entwässerungsnetz formuliert werden. Auf Grundlage der definierten Sanierungsziele kann eine Sanierungsstrategie durch Wahl einzelner Grundstrategien zusammengestellt werden.

Das Modell des Entscheidungsprozesses, der durch Anwendung der formulierten Entscheidungskriterien auf Grundlage der definierten Sanierungsziele auf Netzebene eine stringente Festlegung ermöglicht, wird im Folgenden dargestellt (*siehe Abbildung 6-01*).

## Entscheidungsprozess – Flussdiagramm (Modell)



**Abbildung 6-01:** Entscheidungsprozess zur Wahl einzelner Grundstrategien<sup>449</sup>

<sup>449</sup> Vollständig überarbeitete Version in Anlehnung an Rothhaar (2011), S. 52

## Entscheidungsprozess – Erläuterungen

In jedem Entwässerungsnetz können zu jeder Zeit unplanmäßige Schäden auftreten; möglicherweise droht eine Gefährdung der Umwelt, im schlimmsten Fall sogar das unmittelbare Versagen des Systems im baulichen und/oder betrieblichen Sinne. In jedem Fall muss kurzfristig und korrektiv eingegriffen werden und die wesentlichen Schäden müssen behoben werden. Das „korrektive Sanieren“, die **(1) „Feuerwehrstrategie“**, ist dementsprechend im Regelfall ein fester Bestandteil des Entscheidungsprozesses der Strategiewahl; als Maßnahme, nicht als Strategie (!).

Durch wesentliche Änderungen der Randbedingungen kann eine grundsätzliche Änderung des Aufbaus von Teilen oder der Gesamtheit des Entwässerungssystems bzw. dessen Konzeption zur Anwendung der **(2) funktionsbedingten Strategie** führen.<sup>450</sup> Sie wird meist von übergeordneten Gebietskörperschaften zentral vorgegeben (z.B. Umgestaltung der Emscher in NRW), und kann bei Umsetzung durch die nachgeschalteten Netzbetreiber oftmals zu Schwierigkeiten und erheblichen Mehrkosten führen.<sup>451</sup>

Bei der **(3) gebietsbezogenen Strategie** steht das Interesse an einer ganzheitlichen Sanierung in einem Teilgebiet im Vordergrund. Ein Sonderfall der gebietsbezogenen Strategie stellt die Fremdwassereliminationsstrategie dar, bei der alle Schäden dauerhaft zu beseitigen sind. Dieser Sonderfall führt allerdings nur zum Erfolg, wenn die private Grundstücksentwässerung immer in die Betrachtung mit einbezogen wird. Denn nur durch eine ganzheitliche Erfassung öffentlicher und privater Leitungen kann vermieden werden, dass das Fremdwasser durch Ansteigen des Grundwasserspiegels aufgrund sanierter öffentlicher Leitungen nicht über die höher liegenden privaten Leitungen in das öffentliche Netz gelangt („Drainagewirkung privater Leitungen“). Den Ansatz einer ganzheitlichen Betrachtung des Entwässerungssystems inklusive der Anschlusskanäle und privaten Leitungen gilt es grundsätzlich in jeden Strategieansatz zu übernehmen, da hierdurch erst die Bedingung für die Nachhaltigkeit<sup>452</sup> des Entwässerungssystems geschaffen wird.

Zur wirtschaftlichen Umsetzung einer gebietsorientierten Strategie sollte immer für das zu betrachtende Teilgebiet die *Mehrspartenstrategie* berücksichtigt werden<sup>453</sup>, die das Ziel verfolgt, durch Überlagerung der verschiedenen Sanierungskonzepte aller Infrastrukturteilnehmer die Möglichkeiten zu Synergieeffekten zwischen den Maßnahmen der Sparten permanent zu prüfen und zu nutzen und dadurch Kosten zu sparen. Lässt der Finanzrahmen bei Anwendung der gebietsbezogenen Strategie für das Teilgebiet keine Sanierung der baulichen Schäden in allen Zustandsklassen zu, so führt dies in diesem Zusammenhang zwangsläufig zur Einbeziehung des Prinzips der *Zustandsstrategie für das betrachtete Teilgebiet*. Die Zustandsstrategie sieht eine Sanierung nach Zustandsklassen zur sukzessiven Zustandsverbesserung vor.

---

<sup>450</sup> Vgl. DWA-M 143-14 (2005), S. 25

<sup>451</sup> Vgl. Kommentar zum DWA-M 143-14 (2007), S. 44

<sup>452</sup> Vgl. Körkemeyer (2011)

<sup>453</sup> Vgl. DWA-M 143-14 (2005), S. 23



Können grundsätzlich Synergieeffekte mit anderen Sparten in einer Kommune genutzt werden, so soll auch im gesamten Entwässerungsnetz die **(4) Mehrspartenstrategie** zur Anwendung kommen. "Die Mehrspartenstrategie ist Teil der ganzheitlichen Sanierungsplanung und grundsätzlich wünschenswert."<sup>454</sup>

Die **(5) Substanzwertstrategie** stellt neben der Mehrspartenstrategie eine von zwei Strategien dar, die in jeder übergeordneten Strategieüberlegung der Kommunen zwingend ihren Platz haben muss. Die Substanzwertstrategie exponiert sich hierbei sogar noch durch die Vorgaben des „Generationenvertrages“, den Erhalt des Substanzwertes als oberste Priorität anzusehen. Zur Lösung der in der Sanierungsplanung anfallenden mehrschichtigen Aufgabe wird die Durchführung nur einer Sanierungsstrategie nicht den Erfolg einer ganzheitlichen Kanalsanierung ausmachen. Es sind vielmehr "die Substanzwertstrategie, mindestens eine der sonstigen Strategien und die Feuerwehrstrategie stets parallel zu verfolgen".<sup>455</sup>

Ist in der Betrachtung des gesamten Entwässerungsnetzes die Behebung aller Schäden aus finanzieller Sicht oder aufgrund des Sanierungsumfangs nicht möglich, so soll zur geordneten und gleichmäßigen Zustandsverbesserung die **(6) Zustandsstrategie** verfolgt werden.

Neben den zahlreichen Kriterien, die bei der Wahl von Sanierungsverfahren auf Haltungsebene eine Rolle spielen (*siehe Kapitel 4.4.2*), findet also auch auf der Netzebene ein Entscheidungsprozess statt, in welchem bereits eine Vielzahl von Anforderungen und Handlungsoptionen für die Sanierungsplanung abzuwägen sind. Hierbei geht es insbesondere darum, die in Frage kommenden Grundstrategien zu bestimmen. Das Ergebnis stellt auf Netzebene den für eine Kommune spezifischen Strategiemix, ihre multikriterielle Sanierungsstrategie, dar. Auf Grund der systematischen Berücksichtigung der verschiedenen, in Frage kommenden Entscheidungskriterien auf Netzebene und Haltungsebene wird daher in dieser Arbeit von einer „strategischen Sanierungsplanung“ gesprochen (*siehe Kapitel 4.1.1*).

### Entscheidungsprozess – Beispiel zum besseren Verständnis

Es soll anhand des gegebenen Entscheidungsprozesses der Strategiemix einer Kommune erarbeitet werden. Betrachtet wird eine Kommune X, die in einem Teilgebiet Probleme mit Fremdwasser hat. Da teilweise das Entwässerungsnetz in sehr schlechtem Zustand ist, wird der erste Entscheidungsprozess mit „Ja“ beantwortet, und die „Feuerwehrstrategie“ wird dementsprechend zur Gefahrenabwehr und zur Einleitung korrektiver Maßnahmen vorgesehen.

Im zweiten Entscheidungsfeld wird die Frage nach einer Umorientierung von Teilnetzen oder einer Änderung des Entwässerungskonzeptes gestellt. Beides kann mit „Nein“ beantwortet werden, da in absehbarer Zeit weder ein vorhandenes Mischsystem in ein Trennsystem (oder umgekehrt) umgewandelt werden muss, noch eine Umorientierung der Entwässerungsrichtung (z.B. durch eine Anpassung der Sicherheitsanforderungen bzgl. Überstau- und Überflutungshäufigkeiten) oder eine

<sup>454</sup> Vgl. Milojevic et al. (2005b), S. 69

<sup>455</sup> Vgl. Kommentar zum DWA-M 143-14, S. 34

Änderung oder Wegfall der bisher zur Verfügung stehenden Ableitungswege stattfinden. Dementsprechend wird die funktionsbezogene Strategie kein Bestandteil des Strategiemix.

Aufgrund der Fremdwasserproblematik in einem Teilgebiet ist eine sofortige Berücksichtigung eines Teilbereichs wichtig. Das dritte Entscheidungsfeld ergibt die Antwort „Ja“ und die gebietsbezogene Strategie wird ebenfalls Bestandteil des Strategiemix. Es folgt nun eine „Abzweigung“ im Entscheidungsprozess, da durch Festlegung der gebietsbezogenen Strategie eine Betrachtung eines definierten Teilgebietes erfolgt. Durch Festlegung der gebietsbezogenen Strategie kommt automatisch die Mehrspartenstrategie für das Teilgebiet zur Nutzung von Synergieeffekten mit anderen Infrastruktureilnehmern als Teil des Strategiemix zur Anwendung. Es folgt für das Teilgebiet ein Entscheidungsfeld, mit dem die Frage nach dem vorhandenen Finanzrahmen zur Sanierung der baulichen Schäden in allen Zustandsklassen oder nur in einer schrittweisen Zustandsverbesserung im Teilgebiet mit Fremdwasserproblematik geklärt wird. In diesem Beispiel wird angenommen, dass für das vorhandene (sehr kleine) Teilgebiet der Finanzrahmen eine vollständige Sanierung der baulichen Schäden in allen Zustandsklassen zulässt. Dieser Entscheidungsprozess wird somit mit „Ja“ beantwortet und man landet wieder auf dem „Hauptweg“.

In der weiteren Betrachtung des gesamten Entwässerungsnetzes wird im nächsten Entscheidungsfeld nach der Möglichkeit zur Nutzung von Synergieeffekten mit anderen Sparten gefragt. In diesem Beispiel wird die Frage mit „Ja“ beantwortet. Die Mehrspartenstrategie wird neben der Anwendung im Teilgebiet mit Fremdwasserproblematik auch bezogen auf das gesamte Entwässerungsnetz der Kommune X in den Strategiemix aufgenommen.

Für die Substanzwertstrategie existiert kein Entscheidungsfeld. Sie muss im Sinne des Generationenvertrages zum Erhalt des Substanzwertes zwingend Bestandteil eines Strategiemix sein. Abschließend wird noch die Frage nach der Möglichkeit zur Behebung aller Schäden im gesamten Entwässerungsnetz gestellt. Unter der Annahme, dass im gesamten Netz der Kommune X zwar für das Teilgebiet mit Fremdwasserproblematik eine Sanierung der baulichen Schäden in allen Zustandsklassen erfolgen kann, ist dies im restlichen Netz nicht möglich. Das abschließende Entscheidungsfeld wird somit mit „Nein“ beantwortet. Die Zustandsstrategie mit sukzessiver Sanierung der Zustandsklassen kommt also für das übrige Entwässerungsnetz zur Anwendung.

Die multikriterielle Sanierungsstrategie (Strategiemix) der Kommune X setzt sich somit im beschriebenen Beispiel aus den folgenden Grundstrategien nach DWA-M 143-14 zusammen: „Feuerwehrstrategie“, gebietsbezogene Strategie, Mehrspartenstrategie (sowohl für das Teilgebiet als auch für das übrige Entwässerungsnetz), Substanzwertstrategie und Zustandsstrategie (ausgenommen für das Teilgebiet mit Fremdwasserproblematik).

#### **6.2.4 Übergeordnete Empfehlungen bei Anwendung der Grundstrategien**

Die Entscheidungskriterien auf Netzebene zielen auf eine ganzheitliche Betrachtung des Kanalnetzes. Dabei ist angesichts der langen Nutzungsdauer des Kanalnetzes die Berücksichtigung langfristiger Entwicklungen unausweichlich. In diesem Sinne weist auch eine Studie des Umweltbundesamtes (UBA 2010) darauf hin, neben den Grundstrategien auch die Umfeldbedingungen und deren absehbare Entwicklung zu betrachten.

Hierzu zählen der *demografische Wandel*, *Trinkwasserverbrauch*, *Klimawandel* und der *rechtliche Rahmen*. Im Zusammenhang der Veränderungen von Siedlungsstrukturen und Siedlungsdichte, der Alterung der Bevölkerung, der Entwicklung wassersparender Technologien wie auch der Zunahme von Wetterextremen sind diese Umfeldbedingungen von entscheidendem Einfluss auf die zukünftige Abwasserinfrastruktur.<sup>456</sup> Diese langfristigen Entwicklungen sollten daher in die Sanierungsplanung mit einfließen. Bei der Erarbeitung ganzheitlicher Sanierungsstrategien können solche längerfristigen Perspektiven Berücksichtigung finden.

Ein systematisches Vorgehen im Entscheidungsprozess der Sanierungsplanung, das ergänzend zu dem in dieser Arbeit vorgestellten Ansatz zusätzlich auf die Entwicklung der Umfeldbedingungen fokussiert, kann ein weiterer Optimierungsansatz für die strategische Sanierungsplanung werden. Dieses Themenfeld ist nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit und soll einer eigenständigen Untersuchung vorbehalten sein.

In Bezug auf die anzuwendenden Sanierungsverfahren ist ein so genannter „Wildwuchs“ zu vermeiden. Der Einsatz von Verfahren und insbesondere des Materials soll nach Möglichkeit einheitlich erfolgen. Der Aspekt des Wildwuchses muss in jeder Überlegung zur Festlegung geeigneter Sanierungsverfahren und Werkstoffen Berücksichtigung finden.<sup>457</sup>

### **6.2.5 Hierarchiestruktur der Grundstrategien**

In der operativen Betrachtung einer Sanierungsplanung sind Entscheidungen zu treffen, welche Schäden zu welchen Zeitpunkten saniert werden sollen. Zur Orientierung steht den Entwässerungsbetrieben bereits nach Zustandsbeurteilung in einer frühen Phase der Sanierungsplanung eine Prioritätenliste zur Verfügung. Idealerweise enthält diese Dringlichkeitsliste nicht nur zustandsorientierte Maßnahmen (Festlegung durchzuführender Maßnahmen aufgrund der Klassifizierung nach schwerstem Einzelschaden der Haltung), sondern beinhaltet auch substanzwertorientierte Aspekte, um neben der Kenntnis der Einzelschäden einer Haltung auch über Informationen zum gegenwärtigen Abnutzungsvorrat der gesamten Haltung zu verfügen.

Wenn eine Kommune die Prioritätenliste aufgrund der eigenen Strategieansätze erstellt bzw. überarbeitet, sollte sie die „Hierarchiestruktur“ der Grundstrategien beachten, wie sie im Folgenden dargestellt wird (*siehe Abbildung 6-02*).

---

<sup>456</sup> ebenda

<sup>457</sup> Vgl. a. a. O., S. 45



**Abbildung 6-02:** Hierarchie der Grundstrategien

Als „allgemein“ werden in diesem Zusammenhang die Strategien bezeichnet, die keinen konkreten Bezug zu einem Sanierungsproblem (z.B. spezielle Schadensbehebung, Umorientierung der Fließrichtung, Fremdwasserproblem) haben. Liegt ein Zusammenhang zu einem Schadensfall oder einer zu sanierenden Haltung vor, so kann man von „speziellen“ Strategien sprechen. Die „Hierarchiestruktur“ soll hierbei verdeutlichen, dass die Leitgedanken der „allgemeinen“ Strategien auf die „speziellen“ Ansätze übertragen und mit berücksichtigt werden und unter Umständen (gerade bei Widersprüchen) den Vorzug erhalten sollen.

Die „Feuerwehrstrategie“ stellt kein strategisches Handeln dar, sondern muss vielmehr als kurzfristige Handlungsanweisung angesehen werden. Kommt es an Stellen des Netzes zu kurzfristigen unvorhersehbaren Schäden, die z.B. erhebliche betriebliche Störungen oder eine Gefährdung der Umwelt darstellen, so müssen unabhängig vom Strategiemix direkte Maßnahmen zur Behebung der Schäden ergriffen werden. Die „Feuerwehrstrategie“ hat somit einen unmittelbaren Bezug zum Einsatz von Sanierungsverfahren und steht vor jeder strategischen Sanierungsüberlegung.

Die Substanzwertstrategie ist unter den Grundstrategien nach DWA-M 143-14 in dem Sinne eine allgemeine Strategie, weil sie in Bezug auf die operative Ebene den geringsten unmittelbaren Einfluss auf die Wahl von Sanierungsverfahren hat. Grundsätzlich gilt, den Substanzwert des Entwässerungsnetzes sukzessive zu stabilisieren und anschließend zu verbessern. Generell besitzt die Substanzwertstrategie durch den Aspekt des Generationenvertrages den „allgemeinsten“ Leitgedanken aller Grundstrategien und sollte in jedem Strategiemix enthalten sein.

Die Mehrspartenstrategie stellt eine weitere allgemeine Strategie dar. Es wird vorgegeben, in allen Überlegungen der Sanierungsplanung generell die Möglichkeit zur Nutzung von Synergieeffekten zu prüfen. Können Synergieeffekte genutzt werden, so sollte dieser Aspekt immer Vorrang vor den „spezielleren“ Strategieansätzen bekommen.

Die Zustandsstrategie entspringt dem Leitgedanken, nicht alle Schäden auf einmal beheben zu können. In der Regel steht ein Budget zur Verfügung, mit dem nur in begrenzten Teilgebieten oder in sukzessiver Zustandsbehebung saniert werden kann. Dieser „spezielle“ Strategieansatz sollte

sich jedoch immer dem Mehrspartenansatz fügen und den Erhalt des Substanzwertes im Fokus behalten.

Ein Strategieansatz kann auch sein, in definierten Teilgebieten eine vollständige Sanierung durchzuführen. Gerade bei hohem Fremdwasserauskommen tritt ein Sanierungsproblem in den Vordergrund, das es zu lösen gilt. Diese „speziellere“ Strategie sollte immer dahingehend geprüft werden, ob die „allgemeineren“ Leitgedanken in die Umsetzung der Maßnahmen eingebunden werden können.

Die funktionsbezogene Strategie stellt die „speziellste“ Strategie in der „Hierarchiestruktur“ dar. Sie enthält einen unmittelbaren Bezug zu einem konkreten Sanierungsproblem, z.B. zur Umorientierung oder Anpassung bestehender Haltungen. In der Regel stehen hydraulische Aspekte im Vordergrund, wobei auch hier die Leitgedanken sämtlicher Strategieansätze in die Sanierungsüberlegungen der funktionsbezogenen Strategie einfließen sollten.

### 6.2.6 Exkurs: Festlegung einer „Basisvariante“

Gerade bei kleineren Kommunen fehlt in der Regel das Know-how, um eine systematische Sanierungsplanung durchführen zu können. Zwar sind die Kommunen in der Lage, Sanierungsziele zu formulieren. Allerdings ist oftmals unklar, wie diese im Rahmen einer Sanierungsplanung abgebildet werden können. Zur Festlegung eines ihrem Bedarf entsprechenden individuellen Strategiemix benötigen die Kommunen bzw. die Entwässerungsbetriebe eine geeignete Hilfestellung.

Ausgehend von einer „Basisvariante“ kann ein Entwässerungsbetrieb bei Beachtung der Wechselbeziehungen der Grundstrategien und der iterativen Vorgehensweise im Entscheidungsprozess der Strategiewahl seinen eigenen, individuellen Strategiemix auf Netzebene bestimmen. Die Basisvariante soll eine allgemeingültige Vorgabe sein und kann aus den in der Fachliteratur, z.B. DWA-M 143-14:2007, vorfindbaren Beschreibungen und Erkenntnissen wie auch eigenen Recherchen<sup>458</sup> hergeleitet werden. Auch die Basisvariante integriert dabei verschiedene Grundstrategien. Sie soll ein an verallgemeinerbaren Maßstäben orientierter Strategiemix sein. Demnach kann die Basisvariante in der Priorisierung (Rang 1-3) der enthaltenen Grundstrategien in folgender Weise festgelegt werden:

- Substanzwertstrategie (Rang 1 – hohe Priorität)
- Mehrspartenstrategie (Rang 2 – mittlere Priorität)
- Zustandsstrategie (Rang 3 – geringe Priorität)
- „Feuerwehrstrategie“<sup>459</sup>

<sup>458</sup> Gespräche des Verfassers mit Entwässerungsbetrieben mehrerer Kommunen, darunter z.B. Stadtentwässerung Kaiserslautern und Stadtwerke Grünstadt

<sup>459</sup> Da die Feuerwehrstrategie kein strategisches Handeln, sondern vielmehr eine unplanmäßige, ereignisorientierte Handlungsweise darstellt, wird sie zwar immer kurzfristig mit höchster Priorität angewendet. Allerdings kann sie mit den eigentlichen Grundstrategien nicht verglichen werden.

Die Substanzwertstrategie und die Mehrspartenstrategie müssen in jeder Strategieüberlegung seitens einer Kommune grundlegender Bestandteil sein. Die Substanzwertstrategie wird durch die Vorgaben des „Generationenvertrages“, den Erhalt des Substanzwertes als oberste Priorität anzusehen, besonders hervorgehoben. Die Mehrspartenstrategie nutzt Synergieeffekte, um Baukosten einzusparen.

Darüber hinaus sollte auch die Zustandsstrategie Bestandteil des Strategiemix sein. Die Kommunen sind nicht in der Lage, alle Schäden gleichzeitig zu beheben. In der Regel steht den Kommunen ein Budget zur Verfügung, mit dem sukzessive saniert werden muss. Es bietet sich an, eine am Gefährdungspotential orientierte, gleichmäßige Zustandsentwicklung durchzuführen. Die Zustandsstrategie führt eine sukzessive Zustandsentwicklung durch. Die Feuerwehrstrategie ist in jedem Strategiemix vertreten; nicht als Strategieansatz, sondern als korrektive Maßnahmen zur Gefahrenabwehr.

Eine Priorisierung der gewählten Strategien ist erforderlich, da innerhalb eines Strategiemix immer auch Widersprüche zwischen den Grundstrategien auftreten können. Durch die Festlegung einer Rangordnung wird einer der Grundstrategien bei Interessenskonflikt Vorzug gegeben. Der Erhalt des Substanzwertes erhält nach Generationenvertrag die höchste Priorität und wird demnach auf Rang 1 gesetzt. Die Mehrspartenstrategie steht in gewisser Weise mit der Zustandsstrategie im Widerspruch. Dennoch können beide auch harmonisieren, indem in Anwendung der Zustandsstrategie die Baumaßnahmen mit den Maßnahmen anderer Infrastruktureilnehmer verknüpft werden (modifizierte Zustandsstrategie, *siehe Kapitel 6.2.2*).

Darüber hinaus müssen im Rahmen der Mehrspartenstrategie durch die überwiegend in offener Bauweise durchgeführten Maßnahmen nicht zwingend Erneuerungsmaßnahmen zur Anwendung kommen. Es kann auch die Durchführung von Reparatur- und Renovierungsmaßnahmen geprüft werden. Kommt es bei Ausführung der Maßnahmen zu Widersprüchen in den Leitgedanken der beiden Strategien, so wird der Grundgedanke der Mehrspartenstrategie (Nutzung von Synergieeffekten) der Zustandsstrategie (sukzessive Zustandsverbesserung) in der Folge der höheren Priorisierung immer vorgezogen.

Die „Basisvariante“ wird im Rahmen dieser Arbeit als ein „Hilfsmittel“ verstanden, das man bei der Festlegung eines Strategiemix im Zuge der Beratung einer Kommune anwenden kann.

## **6.3 Wahl des geeigneten Entscheidungsmodells**

### **6.3.1 Vergleich der multikriteriellen Bewertungsverfahren**

Jedes der in den *Kapiteln 5.4.2 - 5.4.4* betrachteten multikriteriellen Bewertungsverfahren offenbart in verschiedenen Punkten des Bewertungsprozesses Stärken und Schwächen. Zum Lösen des Entscheidungsproblems in der Sanierungsplanung kommunaler Entwässerungsnetze soll das Verfahren mit dem besten Kompromiss aus Vor- und Nachteilen (Stärken und Schwächen) ausgewählt werden.

Im Folgenden werden einzelne Aspekte, die eine Bewertung der Entscheidungsmodelle ermöglichen, genauer betrachtet.

1. Genauigkeit:

Hinsichtlich der Gewichtung der Kriterien bietet das AHP Vorteile gegenüber den beiden anderen Verfahren. Beim FAR ist keine Gewichtung der Kriterien möglich. Hier findet lediglich im detaillierten Vergleich zweier Alternativen, sofern die Vor- und Nachteile sich ausgleichen, eine subjektive Wertung des Entscheiders statt, welchem Kriterium er den Vorzug gibt. Im Vergleich zur NWA ist der AHP wegen der breiteren Skala und dadurch feineren Differenzierung der Kriteriengewichtung schärfer. Beim AHP wird außerdem ein Vergleich zwischen den einzelnen Alternativen vorgenommen, der zu einer Gewichtung der Alternativen untereinander führt und die Genauigkeit des Verfahrens steigert.

2. Qualität der Ergebnisse:

Bei der NWA und beim AHP erfolgt die Ausgabe der Ergebnisse über eine kardinale Skalierung. Beim FAR wird das Ergebnis lediglich als ordinale Rangfolge wiedergegeben. Die „Abstände“ (Unterschiede) zwischen den verschiedenen Alternativen lassen sich hierbei nicht näher beziffern. Der Entscheider kann dadurch im Gegensatz zur Angabe der Gesamtnutzwerte bei der NWA nicht abschätzen inwiefern eine Alternative geeigneter ist. Liegen Angaben über die Gesamtnutzwerte zugrunde, ist der Entscheider in der Lage die Rangfolge der Alternativen besser einordnen zu können.

3. Transparenz und Nachvollziehbarkeit:

Grundsätzlich sind alle drei Verfahren transparent und nachvollziehbar. Der AHP und das FAR bieten hinsichtlich der Transparenz leichte Vorteile gegenüber der NWA, da der Entscheider durch den paarweisen Vergleich der Alternativen zwangsweise dazu gebracht wird sich konkret mit den Alternativen auseinanderzusetzen. Dies führt in der Regel zu einer genaueren Bewertung. Leichte Vorteile hinsichtlich der Nachvollziehbarkeit besitzt demgegenüber die NWA durch den logischen Verfahrensaufbau und die Nutzung einfacher Grundrechenarten in der Auswertung. Die Nutzung der komplexeren Matrizen-Multiplikation im AHP wirkt sich nachteilig auf die Nachvollziehbarkeit aus. Um beim FAR die Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten muss der Entscheider konsequent seine Entscheidungen begründen. Dies wirkt sich vorteilhaft auf die Transparenz aus, schafft allerdings einen erheblich höheren Arbeitsaufwand.

4. Arbeitsaufwand und Zeitbedarf:

Der paarweise Vergleich der Alternativen sorgt sowohl beim FAR als auch beim AHP für erhöhten Arbeitsaufwand und Zeitbedarf bei der Auswertung. Soll im Nachhinein eine weitere Alternative ergänzt werden, so hat dies darüber hinaus ebenfalls erheblichen Einfluss auf den Zeitbedarf, da der Bewertungsprozess wieder von Beginn an durchgeführt werden muss. Bei der NWA ist es aufgrund des Bewertungsschemas möglich neue Alternativen im Nachhinein in die Betrachtung mit aufzunehmen, ohne dass das bis dahin erstellte Bewertungsschema „gestört“ wird. Durch das Bewertungsschema erhalten die Eigenschaften ihre Nutzwerte. Dieser Vorteil und die Nutzung der einfachen mathematischen Grundrechenarten machen das „Handling“ der NWA einfach und schnell, selbst bei großen Datenmengen. Nachträgliche Ergänzungen von Al-

ternativen sind mit geringfügigem Arbeitsaufwand ohne Auswirkung auf die bisherige Bewertung möglich.

#### 5. Konsistenz:

Beim AHP ist der paarweise Vergleich der Alternativen fester Bestandteil des Bewertungsschemas. Grundsätzlich werden dadurch Inkonsistenzen bei der Bewertung und Gewichtung der Alternativen vermieden. Treten trotzdem Widersprüche auf, so können diese im AHP erkannt werden (Inkonsistenzfaktor). Allerdings gilt dies nur für eine überschaubare, praktikable Anzahl an Alternativen. Besteht der paarweise Vergleich aus zu vielen Alternativen können sich leicht logische Fehler einschleichen, die zu Inkonsistenzen führen. Um dem entgegenzuwirken wird beim AHP versucht, das Verfahren durch Vorauswahl von K.O.-Kriterien und der damit immanenten Reduzierung von Alternativen weiterhin praktikabel und somit konsistent zu halten. Die Festlegung von K.O.-Kriterien birgt allerdings die Gefahr, dass durch falsche Vorauswahl erhebliche Fehler im Ergebnis auftreten können.<sup>460</sup> Dies gilt ebenso für das FAR. Da bei der NWA ein solcher paarweiser Vergleich von Alternativen im Bewertungsschema nicht vorgesehen ist, ist zwar die Gefahr sich „einschleichender“ Inkonsistenzen gegeben, allerdings bleibt das Verfahren trotz zahlreicher Alternativen praktikabel.

### 6.3.2 Zusammenfassung der Vor- und Nachteile der Modelle

Bei Betrachtung der einzelnen Bewertungsmethoden lassen sich bei jedem Verfahren Stärken und Schwächen ausmachen. Um ein geeignetes Verfahren zur Anwendung in der Sanierungsplanung von Entwässerungsnetzen wählen zu können, werden die Vor- und Nachteile der betrachteten Methoden zusammenfassend gegenübergestellt.

---

<sup>460</sup> **Beispiel:** Wird als Randbedingung die Vorgabe „kurze Bauzeit“ festgelegt, so dient diese Aussage als K.O.-Kriterium für diejenigen Verfahren, die eine längere Bauzeit besitzen. Im Wesentlichen sind dies sämtliche Renovierungs- und Erneuerungsverfahren; in Frage kämen lediglich die Reparaturverfahren. Diese haben allerdings eine verhältnismäßig geringe Nutzungsdauer und sorgen nicht für einen Erhalt des Substanzwerts des Systems. Unter Vorgabe einer Substanzwertstrategie, würde diese Restriktion (K.O.-Kriterium) im Widerspruch zum übergeordneten Strategieansatz stehen und zu einem fehlerhaften Ergebnis in der strategischen Sanierungsplanung führen.



**Tabelle 6-03:** Methodenvergleich – Vor- und Nachteile der betrachteten Modelle

Ver-fahren	Vorteile	Nachteile
<b>NWA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eingesetzte kardinale Skalierung ermöglicht einfaches „<b>Handling</b>“ und formale <b>Nachprüfbarkeit</b> der NWA</li> <li>Durch das zur Anwendung kommende Bewertungsschema (fehlender paarweiser Vergleich) sind <b>nachträgliche Ergänzungen von Alternativen</b> mit nur geringem Zeitaufwand möglich</li> <li>Bietet einen logischen Verfahrensaufbau und ist dadurch <b>nachvollziehbar</b> (kontrollierbar)</li> <li>Durch die hierarchische Gliederung und die daraus folgende klare Strukturierung wird <b>Transparenz</b> geschaffen</li> <li>Einfache und schnelle Datenerhebung und -analyse durch Nutzung einfacher mathematischer Grundrechenarten sorgen für überschaubaren <b>Arbeitsaufwand</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kardinale Skalierung des Nutzwertes (Förderung einer Pseudogenauigkeit)</li> <li>Aggregation der Teilnutzen setzt eine Unabhängigkeit der Teilnutzen voraus</li> <li>Sehr schlechte Zielerreichungsgrade bzw. Teilnutzwerte können durch andere, sehr hohe Nutzwerte vollständig kompensiert werden.</li> <li>Gefahr entstehender <b>Inkonsistenzen</b> bei Anwendung des Bewertungsschemas ist groß (da der paarweise Vergleich der Alternativen im Bewertungsschema nicht vorgesehen ist)</li> <li>Inkonsistenzen werden nicht erkannt</li> </ul>
<b>AHP</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sehr „scharfe“ Differenzierung bei Gewichtung der Kriterien und Nutzwerten führt zu einer hohen <b>Genauigkeit</b></li> <li>Der paarweise Vergleich der Alternativen zwingt zur gedanklichen Auseinandersetzung mit den Alternativen und führt zu einer zusätzlichen <b>Genauigkeit</b></li> <li>Durch die hierarchische Gliederung und die daraus folgende klare Strukturierung wird ein hohes Maß an <b>Transparenz</b> geschaffen</li> <li>Möglichkeit der Reduzierung der Alternativen durch K.O.-Kriterien → dadurch sinkender <b>Arbeitsaufwand</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Der paarweise Vergleich der Alternativen führt zu einem höheren <b>Zeitbedarf</b> in der eigentlichen Auswertung; auch nachträgliche Ergänzungen von Alternativen sind mit erheblichem Mehraufwand verbunden</li> <li>Gefahr von erheblichem <b>Mehraufwand</b> bei zu Beginn falsch formulierten K.O.-Kriterien</li> <li>Nutzung der EDV für die Matrizen-Multiplikation erforderlich, dadurch schlechtere <b>Nachvollziehbarkeit</b></li> <li>Kardinale Skalierung des Nutzwertes (Förderung einer Pseudogenauigkeit)</li> <li>Gefahr entstehender Inkonsistenzen bei Anwendung des Bewertungsschemas ist gegeben</li> </ul>
<b>FAR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Durch K.O.-Kriterien und Dominanzprüfung im Vorfeld kann die Kriterien- und Alternativenzahl verringert werden → dadurch sinkender <b>Arbeitsaufwand</b>.</li> <li>Zwingt durch die Begründung der Entscheidung zur Auseinandersetzung mit jeder Alternative → wirkt sich positiv auf die <b>Genauigkeit</b> und <b>Transparenz</b> aus.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Keine Wichtung der einzelnen Kriterien</li> <li>Verzicht auf Aggregation einer Gesamtpunktzahl</li> <li>Hoher Aufwand durch die Begründungen im paarweisen Vergleich → höherer <b>Zeitbedarf</b> und Mangel an <b>Übersichtlichkeit</b></li> <li>Schlechte <b>Nachvollziehbarkeit</b> bei mangelnder Begründung innerhalb des paarweisen Vergleichs</li> <li>Gefahr von <b>Inkonsistenzen</b> bei zu vielen Alternativen (Intransitivitäten: <math>A &gt; B &gt; C &gt; A</math>)</li> </ul>

Unter Berücksichtigung des Entscheidungsproblems in der Sanierungsplanung kann nun durch Abwägen aller Vor- und Nachteile ein geeignetes Bewertungsverfahren zur Bestimmung der zur Ausführung kommenden Sanierungsverfahren erfolgen.

### 6.3.3 Festlegung und Begründung des geeigneten Bewertungsverfahrens

#### Grundsätzliches

Zur Anwendung der strategischen Sanierungsplanung muss dem Entscheider die Möglichkeit geschaffen werden, individuelle Aspekte des betrachteten Entwässerungsnetzes mit einbinden zu können. Ausgehend von einer vorgegebenen „Basisvariante“ als Ausgangssituation, muss es im Entscheidungsprozess zur Sanierungsplanung möglich sein, eine größere Anzahl an Entscheidungskriterien unterschiedlich gewichten und priorisieren zu können. Trotz der Vielzahl an Kriterien und Alternativen muss das Bewertungsverfahren hierbei praktikabel bleiben.

#### Bewertung

Die hohe Trennschärfe in der Differenzierung der Gewichtung, sowohl der Kriterien als auch der Alternativen, führt zu einer hohen Genauigkeit beim AHP und stellt sicherlich eine der Stärken des Verfahrens dar. Allerdings kann sich dieser Aspekt unter bestimmten Voraussetzungen auch in einen großen Nachteil umkehren. Liegt z.B. keine klare Entscheidungssituation vor, sind also die Alternativenmengen und die Ausprägungen der Alternativen nicht klar umrissen und bekannt, so ist der Entscheidungsträger erstens nicht in der Lage seine Präferenzen eindeutig auf einer ordinalen Skala wiederzugeben und zweitens kann es zur Umkehr von vorgenommenen Bewertungen kommen, wenn im Verlauf der Entscheidungsfindung weitere Alternativen in das Verfahren aufgenommen werden.<sup>461</sup> Am sinnvollsten kommt der AHP dann zum Einsatz, wenn nur eine endliche, überschaubare Anzahl an Alternativen vorliegt, eine mindestens „Quasi-Kardinalität“<sup>462</sup> vorhanden ist und eine Einbindung weiterer Alternativen entweder nicht möglich oder nicht gewollt ist.<sup>463</sup>

Die NWA sieht sich aufgrund des einfach gehaltenen Bewertungsschemas mit diesem Problem nicht konfrontiert, trotzdem wäre eine höhere Trennschärfe in der Gewichtung auch in der NWA sehr sinnvoll. Dieser Nachteil könnte durch Kombination mit dem AHP (bezogen auf die Gewichtung) verbessert werden. Allerdings muss die Voraussetzung einer klaren Entscheidungssituation gegeben sein oder geschaffen werden. Ein weiterer Nachteil ist die Aggregation der Teilnutzen bei der NWA, die voraussetzt, dass die verwendeten Teilnutzen jeweils voneinander unabhängig sind und sich nicht beeinflussen.

Eine sehr große Schwachstelle im FAR ist sicherlich der Arbeitsaufwand, der mit zunehmender steigender Alternativen- und Kriterienzahl erheblich anwächst. Es wird bei Anwendung des Verfahrens häufig versucht durch Vorauswahl und Festlegung von K.O.-Kriterien sowie vorab durchgeführte Dominanzprüfungen die Alternativenzahl zu reduzieren. Allerdings kann hier das gleiche Problem einer unklaren Entscheidungssituation, wie bereits beim AHP erläutert, auftreten. Durch den von Beginn an durchgeführten ordinalen paarweisen Vergleich entfällt beim FAR eine mathe-

---

<sup>461</sup> Vgl. Rohr (2004), S. 48 f.

<sup>462</sup> Eine kardinale Wertfunktion liegt vor, wenn der Entscheidungsträger alle Präferenzstärken zwischen den Alternativen unter Einhaltung der Axiome der Vollständigkeit und Transitivität bewerten kann.

<sup>463</sup> Vgl. Rohr (2004), S. 49 und Schneeweiß (1991)

matische Gewichtung und somit auch die Möglichkeit, eine klare Trennschärfe in Bezug auf die Präferenzen des Entscheiders zu schaffen. Allein schon durch die Systematik des paarweisen Vergleichs ist es im FAR darüber hinaus nachträglich nicht möglich, Alternativen mit in die Betrachtung aufzunehmen, da es hierbei systemimmanent zu Inkonsistenzen und somit zu Verletzungen des Transitivitätsprinzips (*siehe Kapitel 5.2.5*) kommen würde.

### **Modifizierte Nutzwertanalyse als geeignetes Bewertungsverfahren**

Unter diesen Voraussetzungen lässt sich zusammenfassend konstatieren, dass in der Analyse geeigneter Bewertungsverfahren die NWA den besten Kompromiss darstellt. Den Schwächen hinsichtlich der nicht so scharf differenzierten Bewertung (nur sehr einfach gehaltene Gewichtung der Kriterien sowie fehlende Gewichtung der Alternativen) und den leichten Nachteilen bei der Transparenz (im Vergleich zum AHP und dem FAR), stehen Vorteile in den Bereichen Handhabbarkeit („Handling“), Arbeitsaufwand, Nachvollziehbarkeit und nachträgliche Erweiterungsmöglichkeit gegenüber.

In den Schwachstellen soll die NWA durch Modifikation des Verfahrens verbessert werden. Dies gelingt mithilfe einer **schärferen Kriteriengewichtung** nach dem Schema des AHP. Bei der Wahl hinsichtlich des geeignetsten multikriteriellen Bewertungsverfahrens fällt die Entscheidung daher auf eine **modifizierte Nutzwertanalyse**.

Im folgenden *Kapitel 6.3.4* wird die Methodik der modifizierten Nutzwertanalyse dargestellt. Die Anwendung des Modells wird in *Kapitel 7* anhand eines frei gewählten Handlungsbeispiels zur Festlegung auf ein Sanierungsverfahren demonstriert. Hierdurch werden die übersichtliche Strukturierung, die einfache Handhabung und die Nachvollziehbarkeit der Nutzwertanalyse deutlich.

#### **6.3.4 Methodik und Vorgehensweise des gewählten Entscheidungsmodells bei der Wahl geeigneter Sanierungsverfahren**

Bezogen auf die Entscheidungsproblematik bei der Sanierungsplanung kommunaler Entwässerungsnetze ist in *Abbildung 6-03* ein konzeptionelles Modell zur Lösung des Entscheidungsproblems dargestellt. Es handelt sich hierbei um eine **modifizierte Nutzwertanalyse**.

Es gilt unter Beachtung aller relevanten Kriterien die beste Wahl bezüglich Ausführungszeitpunkt und geeignetem Sanierungsverfahren schadhafter Haltungen zu treffen. Dabei setzt jede Kommune für das eigene Entwässerungsnetz individuelle Schwerpunkte in der strategischen Sanierungsplanung. Trotzdem gibt es Elemente im Rahmen eines solchen Entscheidungskonzepts, die in der Anwendung des Modells bei allen Kommunen gleichermaßen gelten, und bei denen von Netz zu Netz keine individuellen Unterschiede gemacht werden. Diese Elemente stellen den starren Rahmen oder das „Korsett“ eines Entscheidungsmodells dar und werden im Zusammenhang dieser Arbeit als **„Modell-Determinanten (MD)“** bezeichnet. Diese Elemente sind:

- **Die Definition der Zielhierarchie** – Strukturierung des Problems mit einhergehender Unterteilung des Hauptziels in Neben- und Unterziele in einer allgemeinen Darstellung;<sup>464</sup>
- **die Ergebnismatrix** – jedem Entscheidungskriterium wird in Bezug auf die jeweilige Handlungsalternative ein Ergebnis zugeordnet;<sup>465</sup>
- **das Bewertungsschema mit Skalierung der Ergebnisse** – zu jedem Entscheidungskriterium werden Ausprägungsformen definiert, die wiederum einer skalierten Zielerfüllungsbewertung zugeordnet werden.<sup>466</sup>

Auf der anderen Seite sind die Entwässerungsnetze einzelner Kommunen durch ihre unterschiedlichen Randbedingungen sehr individuell. Gerade wegen dieser Individualität werden von den Entscheidern im Rahmen der strategischen Sanierungsplanung unterschiedliche Gewichtungen und Präferenzen bezogen auf die einzelnen Entscheidungskriterien gelegt. Das Entscheidungskonzept enthält demnach neben dem „Modell-Korsett“ auch Elemente, die von Netz zu Netz bei jeder Kommune variieren und als „**Modell-Variablen (MV)**“ bezeichnet werden können. Hierzu gehören:

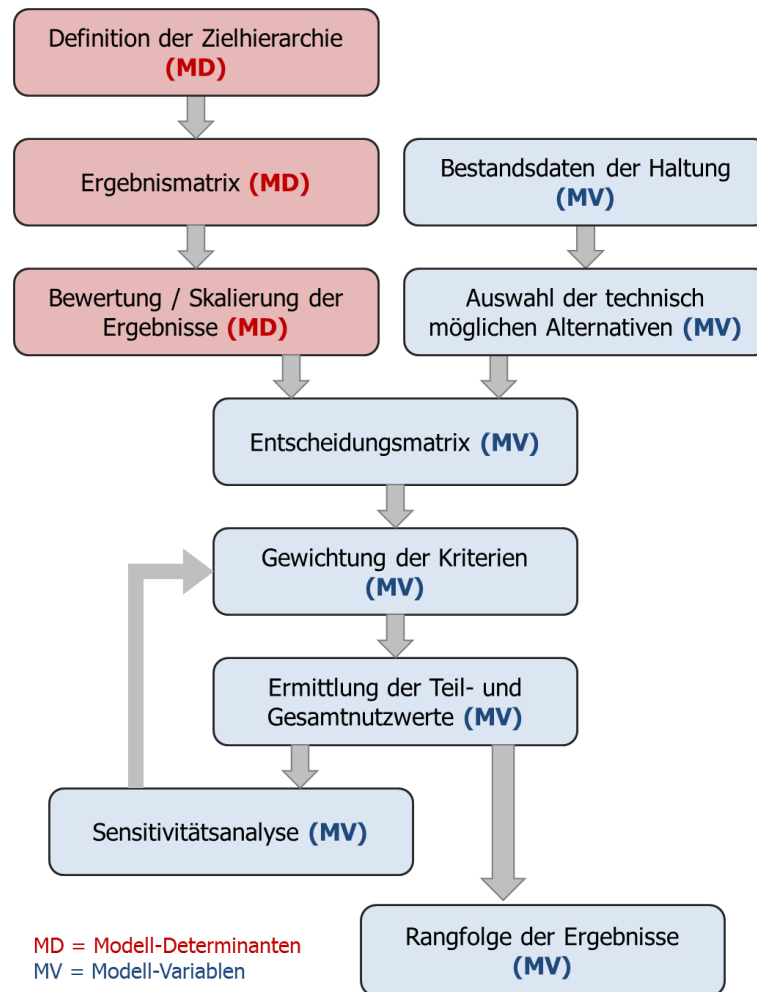
- **Die Bestandsdaten der Haltung** – Angabe aller zur Verfügung stehender Daten einer schadhaften Haltung;
- **die Auswahl der technisch möglichen Alternativen** – durch Analyse der K.O.-Kriterien werden auf Grundlage der Bestandsdaten nicht durchführbare Handlungsalternativen ausgeschlossen;
- **die Entscheidungsmatrix** – auf Grundlage der Bestandsdaten werden die Ergebnismatrix und das Bewertungsschema verknüpft, so dass jeder ausgewählten Handlungsalternative in Bezug auf jedes Kriterium ein Nutzen zugewiesen wird;
- **die Gewichtung der Kriterien** – die Entscheidungskriterien werden paarweise miteinander verglichen und erhalten je nach Präferenz des Entscheiders eine individuelle Gewichtung;
- **die Ermittlung der Teil- und Gesamtnutzwerte** – durch Transformation der Ergebnismatrix in die Entscheidungsmatrix, unter Verwendung der Kriteriengewichtung, lassen sich sämtliche Teilnutzwerte und abschließende Gesamtnutzwerte der Handlungsalternativen ermitteln;
- **die Sensibilitäts- oder Sensitivitätsanalyse** – Veränderung der Gewichtung der nach individueller Festlegung dominierenden Entscheidungskriterien;
- **die Rangfolge der Ergebnisse** – die Handlungsalternative mit dem größten Gesamtnutzwert steht auf dem ersten Rang.

---

<sup>464</sup> **Beispiel:** 1. Ebene, Hauptziel: Wahl des geeigneten Sanierungsverfahrens – 2. Ebene, Nebenziel: Technische Eignung und Schutz der Umwelt – 3. Ebene, Unterziel: Schadensart, Werkstoffe...

<sup>465</sup> **Beispiel:** Dem Kriterium mittlere zu erwartende Nutzungsdauer wird bei der Handlungsalternative Close-Fit-Lining 25-35 Jahre, bei der Handlungsalternative Berstlining 80-100 Jahre zugeordnet.

<sup>466</sup> **Beispiel:** Das Entscheidungskriterium Schadensart besitzt die Ausprägungsform „oo, o, x, xx, xxx“. Die zugehörige Zielerfüllung wird mit oo = Gering (1), x = Mittel (5) und xxx = Hoch (9) sowie den entsprechenden Zwischenwerten o = 3 und xx = 7 skaliert.



**Abbildung 6-03:** Konzeptionelles Modell zur Lösung des Entscheidungsproblems<sup>467</sup>

In *Kapitel 7* wird die Anwendung des Entscheidungskonzepts „modifizierte Nutzwertanalyse“ detailliert erläutert. Hierbei wird zu Beginn das „Modell-Korsett“ definiert und im Anschluss das konkrete Sanierungsproblem anhand eines frei gewählten Haltungsbeispiels mit Hilfe der „Modell-Variablen“ demonstriert.

## 6.4 Verknüpfung von Netzebene und Haltungsebene

### 6.4.1 Zusammenhang der Ebenen – Einführung

Um die Abhängigkeiten zwischen Netzebene und Haltungsebene bestimmen zu können, muss untersucht werden, welche Auswirkungen die Strategieüberlegungen einer Kommune auf die eigentliche „operative“ Sanierungsplanung haben. Hierzu wurden bereits die Auswirkungen bei der Wahl einzelner Grundstrategien untereinander (*siehe Kapitel 6.2.2*) untersucht. Insbesondere aber muss

<sup>467</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Leitl (2012), S. 61

die Auswirkung eines auf Netzebene gewählten Strategiemix auf die Wahl geeigneter Sanierungsverfahren auf Haltungsebene analysiert, die Ergebnisse festgelegt und zur weiteren Verwendung in der Sanierungsplanung vorgegeben werden.

Diese „**Korrelationen**“ bzw. „**Auswirkungen**“ **strategischer Elemente** gilt es immer im Rahmen der Sanierungsplanung zu beachten. Die Korrelationen, als Wirkungsbeziehungen der Grundstrategien untereinander, bilden die Basis zur **Festlegung des Strategiemix**, die Auswirkungen der Grundstrategien auf die Kriterien zur Wahl geeigneter Sanierungsverfahren bilden die **Verknüpfung zwischen Netzebene und Haltungsebene**.

Im Rahmen dieser Arbeit wird durch Analyse und Bewertung aller Grundstrategien und „übergeordneten Strategieempfehlungen“ die Möglichkeit geschaffen, eine systematische, vollständige und nachvollziehbare Festlegung eines Strategiemix vornehmen zu können. Dadurch werden die Entwässerungsbetriebe in die Lage versetzt, ihr System in der Gesamtheit unter Berücksichtigung der multikriteriellen Aspekte erfassen zu können. Um die Einflüsse der Strategieansätze auf die Haltungsebene darzustellen, muss darüber hinaus noch geprüft werden, inwiefern die Wahl geeigneter Sanierungsverfahren von der Wahl des Strategiemix der Kommune abhängig ist.

Diese Verknüpfung von Netzebene und Haltungsebene wird dadurch vollzogen, dass die Auswirkungen der Strategieansätze auf die „operative“ Sanierungsplanung geprüft werden. Die daraus resultierenden Erkenntnisse sind zu nutzen, um die strategischen Elemente im Entscheidungsmodell zur Wahl geeigneter Sanierungsverfahren abzubilden. Dies kann dadurch gelingen, dass die Kriterien zur Wahl einer Grundstrategie mit den Entscheidungskriterien zur Wahl geeigneter Sanierungsverfahren verbunden werden.

Hierzu kann folgendes Beispiel genannt werden: In der Regel kommt es bei der funktionsbezogenen Strategie zu einer Änderung der Netzstruktur (wie z.B. Umorientierung der Entwässerungsrichtung oder Umwandeln eines Mischsystems in ein Trennsystem oder umgekehrt)<sup>468</sup>, die mit Reparatur- und Renovierungsmaßnahmen nicht umgesetzt werden kann. Die Wahl einer funktionsbezogenen Strategie stellt demnach die Anwendung von Erneuerungsverfahren zur Sanierung in den Vordergrund.

Es stellt sich nun die Frage, welche Entscheidungskriterien auf Haltungsebene im Bewertungsverfahren (modifizierte Nutzwertanalyse) die Wahl von Erneuerungsverfahren abbilden. Betrachtet man den Kriterienkatalog aus *Kapitel 4.4.2*, erfüllt dies sicherlich das Kriterium „Nutzungsdauer“. Die Erneuerungsverfahren besitzen eine wesentlich längere Nutzungsdauer als z.B. die Reparaturverfahren. Werden in einem Strategiemix, u.a. unter Anwendung der funktionsbezogenen Strategie Erneuerungsverfahren favorisiert, so kann man diesen Aspekt über eine höhere Gewichtung des Kriteriums „Nutzungsdauer“, zum Ausdruck bringen.

---

<sup>468</sup> Vgl. Kommentar zum DWA-M 143-14 (2007), S. 44)

### 6.4.2 Auswirkungen der Grundstrategien auf die Sanierungsart

Bei der Wahl von Grundstrategien stellt sich unmittelbar die Frage, ob die Festlegung einer oder mehrerer Grundstrategien einen Einfluss auf die im Zuge der Sanierungsplanung auf Haltungsebene festzulegenden Sanierungsarten hat. In *Tabelle 6-04* ist die Einflussnahme gewählter Grundstrategien auf die Wahl der Sanierungsarten grundsätzlich beantwortet.

**Tabelle 6-04:** Einfluss gewählter Grundstrategien auf die Wahl der Sanierungsarten

	...Einfluß auf die Wahl der Sanierungsarten?
Hat die Wahl der...	
"Feuerwehrstrategie"	ja
Funktionsbezogene Strategie	ja
Gebietsbezogene Strategie	bedingt
Mehrsparatenstrategie	ja
Substanzwertstrategie	ja
Zustandsstrategie	ja

Unerwartet und kurzfristig auftretende Schäden müssen bei Gefahr des (teilweisen) Versagens des Systems vordringlich behandelt werden. Die Einhaltung des Umweltschutzes sowie der Erhalt des Substanzwertes und der Verfügbarkeit erfordern ein zeitnahes Eingreifen, das unter Berücksichtigung der Eigenschaften der **„Feuerwehrstrategie“** auch kostengünstig ausgeführt werden soll. „Planung und Ausführung von Erneuerungsarbeiten stehen unter Zeitdruck, diktiert von den unvorhergesehenen Versagensfällen einzelner Netzelemente.“<sup>469</sup> Dies führt zu einem intensiven **Einsatz von Reparaturmaßnahmen**, die mit nur sehr kurzer Planungsdauer zeitnah und kostengünstig ausgeführt werden können.

Funktionsbezogen zu sanieren bedeutet in erster Linie, eine Änderung der Netzstruktur vorzunehmen. Dies wird bei Anwendung der **funktionsbezogenen Strategie** überwiegend durch **Erneuerungsmaßnahmen** durchgeführt, wie z.B. beim Umwandeln eines Mischsystems in ein Trennsystem oder umgekehrt.

Wird eine **gebietsbezogene Strategie** angewendet, so wird durch Wahl dieser Strategie lediglich das zu sanierende (Teil-) Gebiet definiert. Einen **Einfluss** auf den Einsatz von Sanierungsverfahren **gibt es nur bedingt**, und zwar wenn eine Fremdwasserproblematik vorliegt. In diesem Fall kann man der gebietsbezogenen Strategie zwar keine konkrete Sanierungsart zuordnen. Allerdings hat die Grundstrategie konkrete Auswirkung auf Entscheidungskriterien auf Haltungsebene, wie z.B. „Bearbeitung der Zuläufe“ und „Grundwasserabsenkung“.

<sup>469</sup> Vgl. a. a. O., S. 44

Je nachdem welches Sanierungsproblem in dem (Teil-) Gebiet gelöst werden muss, wird bei Einsatz der gebietsbezogenen Strategie zusätzlich die Zustandsstrategie oder die Mehrspartenstrategie eingebunden, was eine mittelbare Einflussnahme auf die Sanierungsverfahren zur Folge hat (siehe Mehrspartenstrategie und Zustandsstrategie).

Die Durchführung von Sanierungsmaßnahmen bei gemeinsamer spartenübergreifender Planung erfolgt in offener Bauweise. Dies unterstützt die Überlegung, die Maßnahmen an den Kanälen mit Erneuerungsverfahren auszuführen. Umgekehrt wird die **Mehrspartenstrategie** bei Kanalabschnitten favorisiert, die größere Schäden aufweisen oder veraltet sind und dementsprechend mit **Erneuerungsmaßnahmen** oder **umfangreicheren Renovierungsmaßnahmen** saniert werden. Trotzdem sollte geprüft werden, ob im Kanalnetz geplante Reparaturen und Renovierungen bei Überlagerung der Maßnahmen mit anderen Sparten in Erneuerungsmaßnahmen umgewandelt werden können.

Betrachtet man die Substanzwertstrategie in ihrer Funktion, übergeordnete Ziele für die Sanierung zu definieren, nimmt sie eine Sonderstellung ein. Um im operativen Sinne eine Prioritätsreihung von Sanierungsmaßnahmen in der Sanierungsplanung festlegen zu können, bedient sich die Substanzwertstrategie anderer Grundstrategien. Dies könnte man als einen mittelbaren Einfluss auf die Wahl der Sanierungsverfahren bezeichnen. Trotzdem nimmt die **Substanzwertstrategie** auch unmittelbaren Einfluss auf die Wahl der Sanierungsverfahren. Je nach Höhe des relativen Substanzwertes des Netzes, müssen, um den Grundsätzen und Zielen der Substanzwertstrategie Folge zu leisten<sup>470</sup>, verschiedene Sanierungsverfahren umgesetzt werden.

Ein hoher relativer Substanzwert im Netz (z.B. zwischen 0,5 und 1) liegt bei „jungen“ Netzen vor. Hier ist es sinnvoll unter Anwendung der Substanzwertstrategie **Sanierungsverfahren mit langer Nutzungsdauer** einzusetzen.<sup>471</sup> Bei einem sehr niedrigen relativen Substanzwert (z.B. kleiner 0,2) liegt ein vordringlich sanierungsbedürftiges Netz vor, das vorzugsweise mit **kapitalexstensiven Verfahren** saniert werden sollte, auch wenn diese kürzere Nutzungsdauern besitzen.<sup>472</sup> Die Besonderheiten bei der Anwendung der Substanzwertstrategie sind ausführlich in *Kapitel 4.2* beschrieben.

Bei der Anwendung der **Zustandsstrategie** „soll berücksichtigt werden, dass bei Sanierung aller Schäden teilweise Erneuerungen notwendig wären. Diese werden jedoch wegen des reduzierten Schadensumfangs der Zustandsstrategie und daraus resultierender **Bevorzugung von Reparaturmaßnahmen** in die Zukunft verschoben.“<sup>473</sup>

---

<sup>470</sup> Der relative Substanzwert bildet sich aus dem Quotient aus Substanzwert des Netzes und dem Wiederbeschaffungswert des Netzes. Der relative Substanzwert bietet eine mögliche Perspektive zur Beurteilung eines Netzes.

<sup>471</sup> Vgl. Kommentar zum DWA-M 143-14 (2007), S. 36

<sup>472</sup> ebenda

<sup>473</sup> Vgl. Milojevic et al. (2005b), S. 71



### 6.4.3 Auswirkungen der Grundstrategien auf die einzelnen Entscheidungskriterien

Die Wahl eines geeigneten Sanierungsverfahrens ist von den zahlreichen Entscheidungskriterien auf Haltungsebene abhängig. Da die Grundstrategien Auswirkungen auf die Entscheidungskriterien haben, nehmen die Strategieansätze auf Netzebene indirekt Einfluss auf die Wahl geeigneter Sanierungsverfahren. Es findet eine Verknüpfung zwischen Netzebene und Haltungsebene statt.

In nachfolgender Tabelle sind die Einflüsse gewählter Grundstrategien auf die Entscheidungskriterien der Haltungsebene dargestellt. Die Einflussnahme wird hierbei nach „neutrale / keine Auswirkung“, „mittlere Auswirkung“ und „starke Auswirkung“ unterschieden.

Zu beachten ist, dass die Grundstrategien nicht auf jedes einzelne Entscheidungskriterium auf Haltungsebene Einfluss haben muss. Aus *Tabelle 6-05* wird erkennbar, dass es einige Entscheidungskriterien gibt, auf die die Grundstrategien keinen Einfluss haben. Diese sind in der Regel technische Aspekte, wie Bettungssituation oder Schadensart, oder sozio-ökonomische Kriterien, wie Erschütterungen oder Beeinträchtigung durch Lärm.

Darüber hinaus gibt es allerdings auch zahlreiche Entscheidungskriterien, die durch die Wahl einer Grundstrategie beeinflusst werden und somit eine Verknüpfung zwischen Netzebene und „operativer“ Ebene (Haltungsebene) darstellen. Besonders im Fokus steht hierbei die „Nutzungsdauer“, da dieses Kriterium jeden gewählten Strategieansatz auf Haltungsebene abbilden kann (*siehe auch Kapitel 6.4.4*).

**Tabelle 6-05:** Auswirkungen der Grundstrategien auf die Kriterien der Haltungsebene<sup>474</sup>

Legende: ++ = starke Auswirkung + = mittlere Auswirkung o = neutrale / keine Auswirkung	Substanzwertstrategie	Gebietsbezogene Strategie	Zustandsstrategie	Mehrpartenstrategie	Funktionsbezogene Strategie	„Feuerwehrstrategie“
<b>Technische Kriterien</b>						
Nennweite	o	o	o	o	o	o
Profilart	o	o	o	o	++	o
Werkstoff	+	o	o	o	o	o
Schadensart	o	o	o	o	o	o
Wiederholung / Erhalt der statischen Tragfähigkeit	o	o	o	o	o	o
Verbesserung der Bettungssituation	o	o	o	o	o	o
Querschnittreduzierung	o	o	o	o	o	+
Wiederherstellung Zulaufanbindung	+	++	+	++	o	o
Maximaler Arbeitsabschnitt / Haltungslänge	o	o	o	o	o	o
<b>Ökologisch - Soziale Kriterien</b>						
Grundwasserabsenkung	o	++	++	o	o	o
Baugrube	o	o	o	++	o	+
Platzbedarf auf der Baustelle	o	o	o	++	o	+
Verträglichkeit für Bäume / Boden / Gewässer	o	o	o	o	o	o
Beeinträchtigung durch Lärm / Staub	o	o	o	o	o	o
Erschütterungen	o	o	o	o	o	o
Wasserrechtliche Genehmigung	o	o	o	o	o	o
<b>Ökonomische Kriterien</b>						
Kosten	o	o	++	++	+	+
Nutzungsdauer	++	++	++	++	++	++
Bauzeit	o	o	o	+	o	+

#### 6.4.4 Dreistufige Verknüpfung der Netzebene mit der Haltungsebene

Jede Grundstrategie lässt sich grundsätzlich in ihrer Auswirkung auf die zu verwendende Sanierungsart unterscheiden. Werden im Zuge der Substanzwertstrategie und funktionsbezogenen Strategie Erneuerungsmaßnahmen bevorzugt, so kommen bei Anwendung der Zustandsstrategie und Feuerwehrstrategie eher Reparaturmaßnahmen zur Ausführung. Die Mehrpartenstrategie sieht in

<sup>474</sup> Vollständig überarbeitete Version in Anlehnung an Rothhaar (2011), S. 50

der Regel umfangreiche Renovierungsmaßnahmen und Erneuerungsmaßnahmen vor. Die Festlegung einer Grundstrategie zieht demnach eine Präferenz der Sanierungsart nach sich.

Diese Präferenz einer Sanierungsart lässt sich auf Haltungsebene mit dem Entscheidungskriterium „Nutzungsdauer“ abbilden. Werden durch Wahl der Grundstrategien Reparaturmaßnahmen mit kurzen Nutzungsdauern bevorzugt, so müssen auch die Sanierungsverfahren mit kurzen Nutzungsdauern im Entscheidungsmodell zur Wahl des bestgeeigneten Sanierungsverfahrens priorisiert werden. Umgekehrt müssen bei Bevorzugung umfangreicher Renovierungsmaßnahmen oder Erneuerungsmaßnahmen Verfahren mit langer Nutzungsdauer priorisiert werden.

Dies gelingt, in dem die Zielerfüllungen des Kriteriums „Nutzungsdauer“ im „Bewertungsschema mit Skalierung“ (*siehe Tabelle 7-07*) des Entscheidungsmodells (modifizierte Nutzwertanalyse) angepasst werden. Eine hohe Zielerfüllung („Hoch (9)“) wird hierbei kurzen Nutzungsdauern bei Strategievorgabe „priorisierter Einsatz von Reparaturmaßnahmen“ und langen Nutzungsdauern bei Strategievorgabe „priorisierter Einsatz von Erneuerungsmaßnahmen“ zugeordnet.

Neben der Präferenz der Sanierungsart hat die Wahl einer Grundstrategie auch unmittelbaren Einfluss auf die Entscheidungskriterien auf Haltungsebene (*siehe Tabelle 6-04*). Diese Einflussnahme kann ebenfalls im Bewertungsmodell zur Wahl des bestgeeigneten Sanierungsverfahrens abgebildet werden. Da jede Grundstrategie auf die einzelnen Entscheidungskriterien eine neutrale, mäßige oder starke Auswirkung hat, wird innerhalb einer Strategie zwischen den Entscheidungskriterien auf Haltungsebene differenziert. Dies kann im Entscheidungsmodell über die unterschiedliche Gewichtung der Entscheidungskriterien zum Ausdruck gebracht werden.

Abschließend sollte die Umsetzung der Sanierungsverfahren, die den Maßnahmen nach Prioritätenliste zugeordnet werden immer in Bezug auf den gewählten Strategiemix geprüft werden. Sind in einem gewählten Strategiemix mehrere Grundstrategien enthalten, so wird eine systematische Abbildung dieser Strategieansätze in dem Entscheidungsmodell (modifizierte Nutzwertanalyse) durch Gewichtung der Kriterien immer schwieriger. In diesen Fällen ist eine Verifizierung der gewählten Sanierungsverfahren im Modell durch „händische“ Prüfung der Prioritätenliste in Bezug auf den festgelegten Strategiemix zwingend erforderlich.

Zusammengefasst läuft die Verknüpfung von Netzebene und Haltungsebene in drei Stufen ab:

1. Anpassung der Zielerfüllung für das Kriterium „Nutzungsdauer“ im „Bewertungsschema mit Skalierung“ des Entscheidungsmodells,
2. Anpassung der Gewichtung der Entscheidungskriterien auf Haltungsebene im Entscheidungsmodell,
3. abschließende Prüfung der Prioritätenliste unter Berücksichtigung des gewählten Strategiemix.

## 6.5 Optimierung durch strategische Sanierungsplanung – Fazit

Im Rahmen einer strategischen Sanierungsplanung werden mehrere Ebenen in die Betrachtung einbezogen. Eine „Mehrdimensionalität“ entsteht durch die Berücksichtigung

1. der allgemeinen Anforderungen an ein Entwässerungsnetz,
2. der gegebenen Randbedingungen vor Ort,
3. der Sanierungsziele der Kommune,
4. der Grundstrategien zur Bildung des Strategiemix (Betrachtung der Netzebene) und
5. der operativen Ebene (Betrachtung der Haltungsebene),

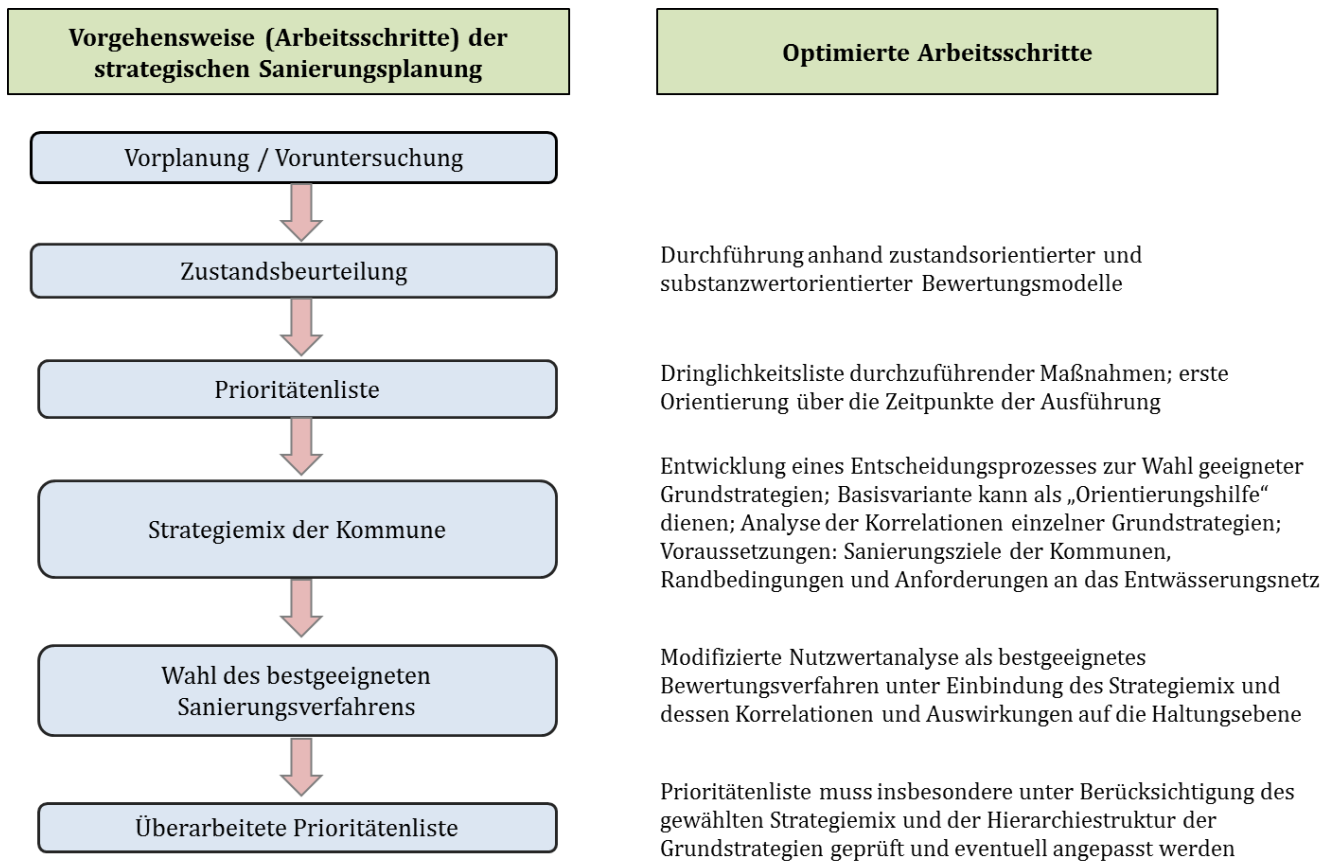
auf der letztlich die Wahl des bestgeeigneten Sanierungsverfahrens getroffen wird. Hinzu kommen zahlreiche Entscheidungskriterien auf Netzebene und Haltungsebene, die den multikriteriellen Aspekt im Strategieansatz abbilden.



**Abbildung 6-04:** „Mehrdimensionalität“ in der strategischen Sanierungsplanung

In dieser Arbeit werden Konzeption und Verfahren eines systematischen, multikriteriellen Entscheidungsprozesses für die Sanierungsplanung entwickelt. Ausgehend von den verschiedenen Ebenen und der mehrdimensionalen Betrachtung inklusive der zahlreichen Entscheidungskriterien zielt dieser Ansatz darauf ab, wesentliche Strategieelemente der Sanierung zu identifizieren und in den Entscheidungsprozess für die Sanierungsplanung einzubinden, was durch die Verknüpfung der Netzebene mit der Haltungsebene gelingt. Darüber hinaus sollen die Möglichkeiten zur Wahl geeigneter Sanierungsverfahren auf Haltungsebene geprüft und verbessert werden.

Die in diesem Sinne vollzogene multikriterielle Optimierung wird als strategische Sanierungsplanung verstanden.



**Abbildung 6-05:** Ablauf und Optimierungsaspekte einer strategischen Sanierungsplanung

Bei Betrachtung der einzelnen Arbeitsschritte in der bisherigen Sanierungsplanung wurden Optimierungsansätze lokalisiert und auf Verbesserungspotential geprüft. Ein erster „**Optimierungshinweis**“ (siehe Kapitel 6.2.1) kann **bei der Zustandsbeurteilung** gegeben werden. Diese sollte zwingend anhand zustandsorientierter und substanzwertorientierter Modelle durchgeführt werden, um im Ergebnis eine brauchbare Prioritätenliste durchzuführender Sanierungsmaßnahmen zu erhalten, die auch eine erste Vorgabe über die zeitliche Abfolge von Sanierungstätigkeit darstellt.

Die **Einbindung strategischer Ansätze in die Sanierungsplanung** ist ein weiterer ganz wesentlicher Optimierungsansatz. Ausgehend von einer Basisvariante, kann eine Kommune durch einen im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Entscheidungsprozess zur Wahl geeigneter Grundstrategien (siehe Kapitel 6.2.3) einen eigenen, individuellen Strategiemix festlegen. Dies gelingt unter Berücksichtigung der bereits erwähnten Anforderungen und Randbedingungen des Entwässerungsnetzes sowie der Sanierungsziele der Kommune. Um die gewählten Strategieansätze in der Sanierungsplanung abbilden zu können, sind Kenntnisse über die Auswirkungen der Strategieansätze untereinander und insbesondere in Bezug auf die Haltungsebene zur konkreten Wahl geeigneter Sanierungsverfahren notwendig.

Im Zuge der **Verknüpfung von Netzebene und Haltungsebene** muss auch der **methodische Ansatz bei der Wahl des bestgeeigneten Sanierungsverfahrens optimiert** werden. Im Rahmen dieser Arbeit wird die Wahl des bestgeeigneten multikriteriellen Bewertungsverfahrens ausführlich diskutiert (siehe Kapitel 5). Bezogen auf das multikriterielle Entscheidungsproblem in

der strategischen Sanierungsplanung wird in *diesem Kapitel* die Wahl einer modifizierten Nutzwertanalyse begründet und in *Kapitel 7* ausführlich beschrieben und angewendet.

Die verwendete Bewertungsmethodik muss zum einen in der Lage sein, auch den strategischen Ansatz abzubilden, zum anderen muss sie in Bezug auf die zahlreichen Entscheidungskriterien und die zahlreichen zur Verfügung stehenden Handlungsalternativen (Sanierungsverfahren) nachvollziehbar (transparent) und praktikabel sein.

Abschließend müssen die bereits vorgesehenen Maßnahmen nach vorhandener Prioritätenliste noch einmal unter Berücksichtigung des gewählten Strategiemix und der Ergebnisse der Wahl geeigneter Sanierungsverfahren geprüft und angepasst werden.

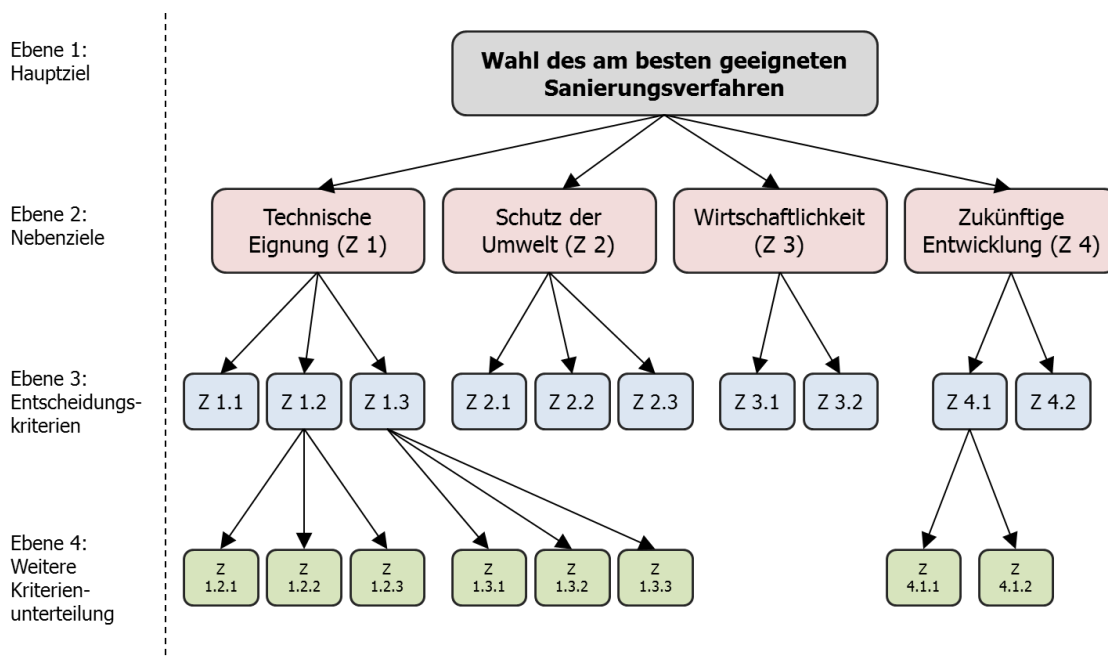
## 7. Anwendung der multikriteriellen Optimierung, gezeigt an einem Handlungsbeispiel

Im Folgenden wird die Vorgehensweise in der Entscheidungsfindung durch Anwendung der modifizierten Nutzwertanalyse anhand eines frei gewählten Handlungsbeispiels detailliert erläutert. Die „Modell-Determinanten“ definieren hierbei auf jedes Entwässerungsnetz anwendbare Elemente. Die „Modell-Determinanten“ bilden die Grundlage, um in Verbindung mit den „Modell-Variablen“ eine individuelle strategische Sanierungsplanung vornehmen zu können. Im Unterschied zu den allgemeingültigen „Modell-Determinanten“ stehen die „Modell-Variablen“ generell in unmittelbarer Abhängigkeit zu dem jeweils betrachteten Entwässerungsnetz.

### 7.1 Die „Modell-Determinanten“ in der Anwendung

#### 7.1.1 Definition des Zielsystems

Um das Problem zu strukturieren, ist es notwendig, dass der Entscheider seine Ziele kennt und diese in einer Zielhierarchie darstellt. *Abbildung 7-01* zeigt die Zielhierarchie des vorliegenden Entscheidungsproblems.



**Abbildung 7-01:** Zielhierarchie Handlungsbeispiel – Übersicht

In Ebene 1 wird das Hauptziel benannt, das als übergeordnetes Ziel im Rahmen der Sanierungsplanung die Wahl des bestgeeigneten Sanierungsverfahrens beinhaltet. Die Ziele der zweiten Ebene und der Großteil der Zielkriterien der dritten Ebene bilden den Zustandsraum der Ergebnismatrix. D.h. es wird benannt, welche Kriterien in Bezug auf das Hauptziel von Relevanz sind, wel-

che Handlungsalternativen in Frage kommen und welche Eigenschaften die Kriterien in Bezug auf die Alternativen besitzen. In *Tabelle 7-01* ist die Zielhierarchie des Haltungsbeispiels unter Nennung aller Entscheidungskriterien der dritten und vierten Ebene zusammenfassend dargestellt.

**Tabelle 7-01:** Zielhierarchie Haltungsbeispiel – Ebene 3 und 4

Hierarchieebene	2.	3.	4.	Bezeichnung
<b>Z 1</b>				<b>Technische Eignung</b>
		Z 1.1		Baujahr
		Z 1.2		Gefälle
		Z 1.3		Profilart
		Z 1.4		Werkstoff
		Z 1.5		Nennweite
		Z 1.6		Schadensart
			Z 1.6.1	<i>Verformung</i>
			Z 1.6.2	<i>Rissbildung in Längsrichtung</i>
			Z 1.6.3	<i>Rissbildung am Rohrumfang</i>
			Z 1.6.4	<i>Rohrbruch</i>
			Z 1.6.5	<i>Einsturz</i>
			Z 1.6.6	<i>Oberflächenschaden durch mechanische Beschädigung</i>
			Z 1.6.7	<i>Oberflächenschaden durch Korrosion</i>
			Z 1.6.8	<i>Einragender / schadhafter Anschluss</i>
			Z 1.6.9	<i>Einragendes Dichtungsmaterial</i>
			Z 1.6.10	<i>Verschobene Verbindung</i>
			Z 1.6.11	<i>Schadhafte Innenauskleidung</i>
			Z 1.6.12	<i>In- / Exfiltration (sichtbare Undichtigkeit)</i>
			Z 1.6.13	<i>Defektes Mauerwerk</i>
			Z 1.6.14	<i>Fehlender Mörtel</i>
		Z 1.7		Statische Tragfähigkeit
		Z 1.8		Bettungssituation
		Z 1.9		Hydraulische Leistungsfähigkeit
		Z 1.10		Wiederherstellung vorhandener Anschlüsse
		Z 1.11		Vorbereitende Maßnahmen
			Z 1.11.1	<i>Reinigen</i>
			Z 1.11.2	<i>Beseitigung von Hindernissen, Wurzeln und Ablagerungen</i>
			Z 1.11.3	<i>Verfüllung von Hohlraum</i>
			Z 1.11.4	<i>Beseitigung anhaftender Stoffe</i>
			Z 1.11.5	<i>Vorflutsicherung</i>
			Z 1.11.6	<i>Erstellung Baugrube</i>
		Z 1.12		Maximaler Arbeitsabschnitt
		Z 1.13		Tiefenlage der Haltung
		Z 1.14		Haltungslänge
		Z 1.15		Kanalsystem
		Z 1.16		Lage des Kanals
<b>Z 2</b>				<b>Schutz der Umwelt</b>
		Z 2.1		Grundwassersituation
		Z 2.2		Verkehrsbeeinträchtigung
			Z 2.2.1	<i>Platzbedarf der Baustelleneinrichtung</i>
			Z 2.2.2	<i>Platzbedarf der Baugrube</i>
		Z 2.3		Verträglichkeit für Bäume / Boden / Gewässer
		Z 2.4		Beeinträchtigung durch Lärm / Staub
		Z 2.5		Beeinträchtigung durch Erschütterungen
		Z 2.6		Wasserrechtliches Genehmigungsverfahren



<b>Z 3</b>			<b>Wirtschaftlichkeit</b>
	Z 3.1		Direkte Kosten
	Z 3.2		Indirekte Kosten
		Z 3.2.1	<i>Erhöhter Kraftstoffverbrauch durch Umleitung / Stau</i>
		Z 3.2.2	<i>Umsatzeinbußen der anliegenden Geschäfte</i>
	Z 3.3		Nutzungsdauer
	Z 3.4		Bauzeit
<b>Z 4</b>			<b>Zukünftige Nutzung</b>
	Z 4.1		Klimawandel
	Z 4.2		Demografischer Wandel

### 7.1.2 Darstellung der Ergebnismatrix

Im Zustandsraum der Ergebnismatrix werden sämtliche Handlungsalternativen (Sanierungsverfahren) und Entscheidungskriterien bzw. Ziele der Ebenen 1-4 dargestellt. Jedem Sanierungsverfahren wird hierbei bezogen auf jedes einzelne Kriterium ein Ergebnis zugeordnet. Das Nebenziel Z 4 mit den zugehörigen untergeordneten Kriterien wird aufgrund der unzureichenden wissenschaftlichen Erkenntnisse vorerst nur als zusätzliche Information angefügt und dadurch als „Kriterium“ zumindest angedeutet. Die Merkmale respektive Informationen zu den Handlungsalternativen (Sanierungsverfahren) beruhen auf den Angaben aus Anhang A-6 der Arbeitshilfen Abwasser des BMVBS. Die Ergebnismatrix stellt sich exemplarisch für fünf Sanierungsverfahren folgendermaßen dar (vollständige Tabelle *siehe Tabelle A-01* im Anhang):

**Tabelle 7-02:** Ergebnismatrix bei Sanierungsentscheidungen (Auszug)<sup>475</sup>

	Injektionsverf. mit Gel	Injektionsverf. mit Harz	Flutungs- verfahren	Roboter- verfahren	Vor Ort härtende Kurzliner
Nennweite bzw. Abmessung	100 - 600	150 - 700	100 - 500	200 - 800	100 - 800
Profilart	Kreis, Ei	Kreis	beliebig	Kreis, Ei bedingt	Kreis, Ei bedingt
Werkstoff	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig (nicht dünnwandig)	beliebig außer PE, PP
Schadensart gemäß DIN 13508-2	siehe "ergänzende Ergebnismatrix" (nachfolgend)				
Wiederherstellung / Erhalt der statischen Tragfähigkeit	nein	ja	ja	ja	nein
Verbesserung der Bettungssituation	nein	ja	ja	nein	nein
hydr. Leistungsfähigkeit (Querschnittsreduzierung)	nein	nein	nein	nein	gering
Wiederherstellung Zulaufanbindung	nicht geeignet	spez. Gerätetechnik	von innen	spez. Gerätetechnik	spez. Gerätetechnik
Vorbereitende Maßnahmen für die Sanierung	siehe "ergänzende Ergebnismatrix" (nachfolgend)				
Max. Arbeitsabschnitt [m]	70	140	situationsbez.	70	70
<b>Technische Eignung</b>					
Grundwasserabsenkung	nein	nein	ja	ggf.	ggf.
Verkehrsbeinträchtigung	siehe "ergänzende Ergebnismatrix" (nachfolgend)				
Verträglichkeit für Bäume / Boden / Gewässer	ja	ja	bedingt	ja	ja
Beeinträchtigung durch Lärm / Staub	gering	gering	gering	gering	gering
Erschütterungen	nein	nein	nein	nein	nein
Wasserrechtliche Genehmigung	(ggf.) in WGG	nein	in WGG	nein	nein
<b>Schutz der Umwelt</b>					
Kosten	sehr niedrig	mittel	niedrig	niedrig / sehr niedrig	niedrig / mittel
Nutzungsdauer	5-10 Jahre	25-35 Jahre	5-10 Jahre	20-25 Jahre	10-15 Jahre
Bauzeit	mittel	mittel	mittel	kurz	kurz
<b>Wirtschaftlichkeit</b>					

Einige der genannten Kriterien besitzen noch eine weitere Unterteilungsebene, wie z.B. die Schadensart, die vorbereitenden Maßnahmen und die Kosten (*siehe Tabelle 7-01*). Diese werden jedoch aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht zusätzlich als Einzelnutzen, sondern nur als aggregierter Wert des übergeordneten Kriteriums in der Ergebnis- und später in der Entscheidungsmatrix ausgegeben.

<sup>475</sup> aus BMVBS (2012), Anhang 6.2, aufgerufen am 17.09.2012; vollständige Tabelle *siehe Anhang (Tabelle A-01)*

Das Entscheidungskriterium „Schadensart“, Z 1.6 – *nach Tabelle 7-01*, wird hierbei in die einzelnen Darstellungsformen unterteilt. Jede einzelne Schadensart, Z 1.6.1 bis Z 1.6.14, besitzt unterschiedliche Ausprägungen in Bezug auf die einzelnen Sanierungsverfahren (*siehe Tabelle 7-03*).

**Tabelle 7-03:** Ergänzende Ergebnismatrix zum Kriterium „Schadensart (Auszug)“<sup>476</sup>

	Injektions- verfahren mit Gel	Injektions- verfahren mit Harz	Flutungs- verfahren	Roboter- verfahren	Vor Ort härtende Kurzliner
<b>Schadensart gemäß DIN 13508-2</b>					
Verformung	oo	xxx	xxx	x	x
Rissbildung in Längsrichtung	oo	xxx	xxx	xx	xx
Rissbildung am Rohrumfang	oo	xxx	xxx	xxx	xxx
Rohrbruch	oo	xxx	x	xxx	xx
Einsturz	oo	x	oo	x	o
Oberflächenschaden durch mechekanische Beschädigung	oo	oo	oo	xx	xxx
Oberflächenschaden durch Korrosion	oo	oo	oo	x	xxx
Einragender / schadhafter Anschluss	oo	oo	oo	oo	oo
Einragendes Dichtungsmaterial	oo	x	oo	xxx	xxx
Verschobene Verbindung	oo	xx	xx	xxx	xxx
Schadhafte Innenauskleidung	oo	o	oo	xxx	xxx
In-/Exfiltration (sichtbare Undichtigkeit)	xx	xxx	x	xx	xx
Einträge unter "Schadensart gemäß DIN 13508-2"					
bes. empfehlenswert = xxx	anwendbar = xx		bedingt anwendbar = x		
nicht empfehlenswert = o	nicht geeignet = oo				

Das Entscheidungskriterium „vorbereitende Maßnahmen“, Z 1.11 – *nach Tabelle 7-01*, wird in die, zur Ausführung einer Sanierungsverfahren notwendigen einzelnen Maßnahmen, Z 1.11.1 bis Z 1.11.6, unterteilt (*siehe Tabelle 7-04*). Auch diese besitzen unterschiedliche Ausprägungen in Bezug auf die einzelnen Sanierungsverfahren.

<sup>476</sup> aus ebenda; vollständige Tabelle *siehe Anhang (Tabelle A-02)*

**Tabelle 7-04:** Ergänzende Ergebnismatrix zum Kriterium „vorbereitende Maßnahmen (Auszug)“<sup>477</sup>

	Injektions- verfahren mit Gel	Injektions- verfahren mit Harz	Flutungs- verfahren	Roboter- verfahren	Vor Ort härtende Kurzliner
<b>Vorbereitende Maßnahmen für die Sanierung</b>					
Reinigen	ja	ja	ja	ja	ja
Beseitigung von Hindernissen, Wurzeln und Ablagerungen	ja	ja	ja	ja	ja
Verfüllung von Hohlraum	ja	nein	ja	nein	ja
Beseitigung anhaftender Stoffe	ja	ja	ja	nein	ja
Vorflutsicherung	ja	nein	ja	ja	ja
Erstellung Baugrube	nein	nein	nein	nein	nein

Das Entscheidungskriterium „Verkehrsbeeinträchtigung“, Z 2.2 – *nach Tabelle 7-01*, wird in die beiden Kriterien „Platzbedarf der Baustelleneinrichtung“ und „Platzbedarf der Baugrube“, Z 2.2.1 und Z 2.2.2, unterteilt (*siehe Tabelle 7-05*). Auch diese besitzen unterschiedliche Ausprägungen in Bezug auf die einzelnen Sanierungsverfahren.

**Tabelle 7-05:** Ergänzende Ergebnismatrix zum Kriterium „Verkehrsbeeinträchtigung (Auszug)“<sup>478</sup>

	Injektions- verfahren mit Gel	Injektions- verfahren mit Harz	Flutungs- verfahren	Roboter- verfahren	Vor Ort härtende Kurzliner
<b>Verkehrsbeeinträchtigung</b>					
Baugrube	nein	nein	nein	nein	nein
Platzbedarf an der Baustelle	mittel	mittel	gering	gering	mittel

### 7.1.3 Bewertungsschema mit Skalierung

Um den Zusammenhang zwischen den einzelnen Entscheidungskriterien und den Handlungsalternativen (Sanierungsverfahren) zu verdeutlichen, müssen in Bezug auf das Bewertungsschema zu Beginn neben der Nennung der Kriterien auch entsprechende Erläuterungen gegeben werden. Hierbei wird zu jedem Entscheidungskriterium eine „Beschreibung“ als Frage formuliert, wodurch Antwortmöglichkeiten (sog. „**Ausprägung**“) festgelegt werden können. Bei Nennung des Kriteriums „Grundwasserabsenkung“ wird z.B. durch die ergänzende Frage „Ist zum Einsatz des Sanie-

<sup>477</sup> aus ebenda; vollständige Tabelle *siehe Anhang (Tabelle A-03)*

<sup>478</sup> In Anlehnung an BMVBS (2012), Anhang 6.2, aufgerufen am 17.09.2012; vollständige Tabelle *siehe Anhang (Tabelle A-04)*

rungsverfahrens eine Grundwasserabsenkung erforderlich?", durch entsprechende Antwortmöglichkeiten „ja“, „nein“ und „gegebenenfalls“, geklärt, inwiefern ein Sanierungsverfahren dieses Kriterium erfüllt und welche „Qualität“ (z.B. bei Kriterium „Schadensart“ „besonders empfehlenswert“ das Sanierungsverfahren in diesem Zusammenhang hat (*siehe Tabelle 7-06*).

**Tabelle 7-06:** Kriterien inkl. Beschreibung bei Sanierungsentscheidungen

Entscheidungskriterien			Ausprägung	Datentyp
Bezeichnung	Darstellungsform	Beschreibung		
Nennweite	DN 100 - 800	Ist das Sanierungsverfahren bei der vorgegebenen Nennweite einsetzbar?	ja / nein	numerische Bandbreite
Profilart	Kreis-, Ei-, Sonderprofile	Ist das Sanierungsverfahren bei der Profilart einsetzbar?	ja / nein	logisch
Werkstoff	STZ, B, FZ, ASZ, GFK, GG, GGG, ZMA, PE HD, PE MD, PE LD, PVC	Ist das Sanierungsverfahren bei dem Werkstoff einsetzbar?	ja / nein	logisch
Schadensart	z.B. Verformung, Rissbildung, Rohrbruch, Einsturz, In-	Ist das Sanierungsverfahren bei der Schadensart einsetzbar?	ja (o, x, xx, xxx) / nein (oo)	ordinal
Wiederh. / Erhalt der statischen Tragfähigkeit		Kann das Sanierungsverfahren die stat. Tragfähigkeit erhalten/wiederherstellen?	ja / nein	logisch
Verbesserung der Bettungssituation		Kann das San.verfahren die Bettungssituation verbessern?	ja / nein	logisch
Querschnittsreduzierung		Führt der Einsatz des Sanierungsverfahren zu einer Reduzierung des Querschnitts?	ja (gering, mittel, groß) / nein	ordinal
		Muss eine Reduzierung des Querschnitts vermieden werden?	ja / nein	logisch
Wiederherstellung Zulaufanbindung		Ist das Sanierungsverfahren zur Wiederherstellung einer Zulaufanbindung geeignet?	ja (spez. Gerätetechnik, von innen bzw. außen) / nein (nicht geeignet)	ordinal
Vorb. Maßnahmen	z.B. Reinigen, Beseitigung von Hindernissen, Vorflutsicherung	Sind vorbereitende Maßnahmen bei Anwendung des Sanierungsverfahren zu treffen?	ja / nein	logisch
Max. Arbeitsabschnitt		Wie groß ist der max. Arbeitsabschnitt beim Einsatz des Sanierungsverfahren?	0 → ∞	numerisch
Grundwasserabsenkung		Ist zum Einsatz des Sanierungsverfahren eine Grundwasserabsenkung erforderlich?	ja / nein / ggf.	ordinal
Baugrube nötig		Ist zum Einsatz des Sanierungsverfahrens eine Baugrube erforderlich?	ja / nein	logisch
Platzbedarf Baustelle		Wieviel Platzbedarf auf der Baustelle ist zum Einsatz des Sanierungsverfahren erforderlich?	gering / mittel / groß	ordinal
Verträglichkeit für Bäume, Boden, Gewässer		Ist der Einsatz des Sanierungsverfahren bzgl. Bäumen, Boden und Gewässer verträglich?	ja / nein / bedingt	ordinal
Beeinträchtigung durch Lärm / Staub		Wie groß ist bei Einsatz des Sanierungsverfahren die Beeinträchtigung durch Lärm und Staub?	gering / mittel / groß	ordinal
Erschütterungen		Wie groß sind beim Einsatz des Sanierungsverfahrens die Erschütterungen?	nein / gering / mittel / groß	ordinal
Wasserrechtliche Genehmigung		Sind wasserrechtliche Genehmigungen für das Sanierungsverfahren erforderlich?	nein / ggf. in WGG / in WGG	ordinal
Kosten		Wie hoch sind die Kosten des Sanierungsverfahrens?	sehr niedrig / niedrig / mittel / hoch / sehr hoch	numerische Bandbreite
Nutzungsdauer		Wie lange ist die geschätzte mittlere Nutzungsdauer des Sanierungsverfahrens?	5 - 100 Jahre	numerische Bandbreite
Bauzeit		Wie lange ist die geschätzte Bauzeit des Sanierungsverfahrens?	kurz / mittel / lang	ordinal

Zur Bewertung der Ergebnismatrix muss für jedes Entscheidungskriterium eine Skalierung definiert werden. Das Ergebnis, das jedes Kriterium in Bezug auf die verschiedenen Sanierungsverfahren erzielt, kann somit durch diese Skala beschrieben werden. Durch das Bewertungsschema wird jeder „Ausprägung“ eine „**Zielerfüllung**“ durch den entsprechenden Wert der Skala zugeordnet. Das Bewertungsschema spiegelt für den Entscheider die Zielerfüllung der entscheidungsrelevanten Kriterien wider.

Anhand der Zielerfüllungsgrade erkennt der Entscheider, wie hoch der Nutzen eines Sanierungsverfahrens ist. Zur Bewertung ist es zwingend notwendig, eine einheitliche Skalierung für alle Entscheidungskriterien zu verwenden, da ansonsten eine „Verzerrung“ der Gewichtung stattfinden würde. Für die Bewertungsskala wird eine Skalierung mit einem Wertebereich zwischen 1 und 9 gewählt. Der Wert 1 steht für eine geringe Zielerfüllung, der Wert 9 für eine hohe Zielerfüllung. Die Zwischenwerte ermöglichen dem Entscheider eine bessere Differenzierung der Zielerfüllung.

**Tabelle 7-07:** Bewertungsschema mit Skalierung

Entscheidungskriterien	Ausprägung	Zielerfüllung (ZE)				
		relevant für ZE	K.O.	Gering (1)	Mittel (5)	Hoch (9)
Nennweite	ja / nein	bei "ja" keine Relevanz	bei "nein"	-	-	-
Profilart	ja / nein	bei "ja" keine Relevanz	bei "nein"	-	-	-
Werkstoff	ja / nein	bei "ja" keine Relevanz	bei "nein"	-	-	-
Schadensart	ja (o, x, xx, xxx) / nein (oo)	immer	bei "oo"	o	x (3), xx (6)	xxx
Wiederh. / Erhalt der statischen Tragfähigkeit	ja / nein	bei "ja" keine Relevanz	bei "nein"	-	-	-
Verbesserung der Bettungssituation	ja / nein	bei "ja" keine Relevanz	bei "nein"	-	-	-
Querschnittsreduzierung	ja (gering, mittel, groß) / nein	immer	-	groß	mittel (3), gering (6)	nein
	ja / nein	bei "nein"	bei "ja"	-	-	-
Wiederherstellung Zulaufanbindung	ja (spez. Gerätetechnik, von innen bzw. außen) / nein (nicht geeignet)	immer	bei "nicht geeignet"	spez. Gerätetechnik	-	von innen von außen
Vorb. Maßnahmen	ja / nein	immer	-	ja	-	nein
Max. Arbeitsabschnitt	0 → ∞	immer	-	< 40 m	40 m < x < 100 m	> 100 m
Grundwasserabsenkung	ja / nein / ggf.	immer	-	ja	ggf.	nein
Baugrube nötig	ja / nein	immer	-	ja	-	nein
Platzbedarf Baustelle	gering / mittel / groß	immer	-	groß	mittel	gering
Verträglichkeit für Bäume, Boden, Gewässer	ja / nein / bedingt	immer	bei "nein"	bedingt	-	ja
Beeinträchtigung durch Lärm / Staub	gering / mittel / groß	immer	-	groß	mittel	gering
Erschütterungen	nein / gering / mittel / groß	immer	-	groß	mittel (3), gering (6)	nein
Wasserrechtliche Genehmigung	nein / ggf. in WGG / in WGG	immer	-	in WGG	ggf. in WGG	nein
Kosten	sehr niedrig / niedrig / mittel /	immer	je nach Vorgabe durch Entscheider	sehr hoch	mittel	sehr niedrig
Nutzungsdauer	5 - 100 Jahre	immer	je nach Vorgabe durch Entscheider	< 10	50	> 90
Bauzeit	kurz / mittel / lang	immer	je nach Vorgabe durch Entscheider	lang	mittel	kurz

## K.O.-Kriterien

Je nach Ausprägung der Entscheidungskriterien können diese zum Ausschluss eines oder mehrerer Sanierungsverfahren führen. In diesem Zusammenhang spricht man von „**K.O.-Kriterien**“, die sich hinsichtlich ihrer Relevanz für die Zielerfüllung unterscheiden lassen. Zum einen gibt es Entscheidungskriterien, die zwar zum Ausschluss eines oder mehrerer Sanierungsverfahren führen können, allerdings auf die übrigen Sanierungsverfahren keinen weiteren Einfluss in Bezug auf deren Priorisierung haben und demnach **keine Relevanz für die Zielerfüllung** besitzen; diese Kriterien können nach Ausschluss nicht anwendbarer Verfahren in der weiteren Betrachtung bzgl. Zielerfüllung vollständig ausgeblendet werden.

Zum anderen gibt es Entscheidungskriterien, die Sanierungsverfahren zum Ausschluss bringen können, und weiterhin in Bezug auf die übrigen Sanierungsverfahren einen Einfluss auf die Gewichtung einzelner Verfahren haben und somit **Relevanz für die Zielerfüllung** aufweisen; das Kriterium sorgt für eine Bewertung aller in Frage kommender Sanierungsverfahren.

Man kann die K.O.-Kriterien folgendermaßen gruppieren:

- **Technische K.O.-Kriterien ohne Relevanz für die Zielerfüllung**

Die Kriterien besitzen alle eine klare „ja-nein-Ausprägung“, d.h. die Sanierungsverfahren erfüllen dieses Kriterium oder nicht, es gibt keine „Zwischenstufen“. Entweder ist ein Sanierungsverfahren in der Lage für die Profilart „Eiprofil“ eingesetzt werden zu können oder nicht. Wenn nein, wird das Verfahren ausgeschlossen („K.O.“), wenn ja, so hat das Kriterium keinen Einfluss auf die „Qualität“ der Sanierungsverfahren untereinander, was die Sanierung eines Eiprofils betrifft. Es können keine Qualitätsunterschiede in der Anwendung einzelner Sanierungsverfahren in Bezug auf ein Eiprofil festgestellt werden. Das Kriterium hat somit keine Relevanz für die Zielerfüllung zur Wahl des bestgeeigneten Verfahrens.

**Beispiele:** *Nennweite, Profilart, Werkstoff, Wiederherstellung / Erhalt der statischen Tragfähigkeit, Verbesserung der Bettungssituation*

- **Technische K.O.-Kriterien mit Relevanz für die Zielerfüllung**

Diese Kriterien besitzen eine Ausprägung mit Zwischenstufen. Neben der „ja-nein-Ausprägung“ existieren noch ein oder mehrere Zwischenstufen, die das Kriterium in die Lage versetzen eine Bewertung der Sanierungsverfahren untereinander vornehmen zu können. Zur Sanierung einer bestimmten Schadensart sind manche Verfahren nicht geeignet und werden somit ausgeschlossen („K.O.“). Die Verfahren, die in der Lage sind einen solchen Schaden zu sanieren, können dies in den Ausprägungen „nicht empfehlenswert“, „bedingt anwendbar“, „anwendbar“ und „besonders empfehlenswert“ realisieren. Hierdurch können Qualitätsunterschiede in der Anwendung einzelner Sanierungsverfahren in Bezug auf diese Schadensart festgestellt werden und führen zu einer unterschiedlichen Bewertung der Verfahren. Das Kriterium „Schadensart“ hat somit Relevanz auf die Zielerfüllung zur Wahl des bestgeeigneten Verfahrens.

**Beispiele:** *Schadensart, Querschnittsreduzierung, Wiederherstellung Zulaufanbindung*

- **Ökologische K.O.-Kriterien mit Relevanz für die Zielerfüllung**

Verstößt ein Sanierungsverfahren gegen die Grundsätze des Umweltschutzes, so führt dies zum Ausschluss des Verfahrens („K.O.“). Die Sanierungsverfahren können bei Kriterien mit Bezug zur Verträglichkeit mit dem Umweltschutz mit den Ausprägungen „bedingt“ und „ja“ bewertet werden, wodurch für die Kriterien eine Relevanz zur Zielerfüllung gegeben ist.

**Beispiele:** *Verträglichkeit für Bäume / Boden / Gewässer*

- **Ökonomische K.O.-Kriterien mit Relevanz für die Zielerfüllung**

Im Gegensatz zu den technischen K.O.-Kriterien, bei denen die Möglichkeit zum Einsatz eines Sanierungsverfahrens unter rein technischen Gesichtspunkten entschieden wird, kann bei den ökonomischen K.O.-Kriterien der Entscheider festlegen, bei welchem Wert oder in welcher Bandbreite eine Zielerfüllung gegeben ist. Wird z.B. vom Entscheider beim Kriterium „Nutzungsdauer“ eine Bandbreite von 40 - 50 Jahren vorgegeben, so werden alle Verfahren mit einer geschätzten mittleren Nutzungsdauer < 40 Jahre ausgeschlossen („K.O.“). Für die Ausprägungen > 40 Jahre, können die Sanierungsverfahren unterschiedlich bewertet werden (z.B. 40 - 60 Jahre: „mittel“, 60 - 80 Jahre: „gut“, 80 - 100 Jahre: „sehr gut“), es liegt für das Kriterium Nutzungsdauer eine klare Relevanz für die Zielerfüllung vor.

**Beispiele:** *Nutzungsdauer, Bauzeit, Kosten*

## 7.2 Die „Modell-Variablen“ in der Anwendung

### 7.2.1 Bestandsdaten der Haltung

Als erste individuelle Eingangsgrößen werden die Bestandsdaten der Haltungen herangezogen. Die Vorgaben, die dem Beispiel zu Grunde liegen sind *Tabelle 7-08* zu entnehmen. Es handelt sich hierbei um eine Haltung im Verkehrsraum einer Anliegerstraße mit einer Länge von 48 m.

**Tabelle 7-08:** Vorgaben Handlungsbeispiel

Stadt:	Boxberg	Nennweite:	DN 600
Stadtteil:	Oberschüpf	Rohrmaterial:	Stb
Startschacht-Nr.:	M 20	Querschnittsform:	Kreis
Endschacht-Nr.:	M 21	Haltungslänge:	48 m
Kanalsystem:	Mischwasser	Durchschn. Tiefe	2,00 m
Lage des Kanals:	Verkehrsraum, Anliegerstr.	Hausanschl. Vorh.	Ja

Neben den allgemeinen Informationen über Lage des Kanals, Startschacht-Nr. und Kanalsystem gibt es hierbei bereits erste Aspekte, die als Entscheidungskriterien in Bezug auf die Wahl eines geeigneten Sanierungsverfahrens von Bedeutung sind, wie z.B. Nennweite, Rohrmaterial und Querschnittsform. Da die Bestandsdaten der Haltungen individuelle Informationen aus dem Entwässerungsnetz einer Kommune sind, stellen Sie die ersten variablen Aspekte im Entscheidungskonzept einer Sanierungsplanung dar.



Darüber hinaus wird angenommen, dass die Kommune den Strategiemix „Basisvariante“ verfolgt. Es werden demnach in den strategischen Ansätzen, die in der Sanierungsplanung vorgesehen sind die Substanzwertstrategie, die Mehrspartenstrategie, die Zustandsstrategie und die „Feuerwehrstrategie“ angewendet.

### 7.2.2 Auswahl der technisch durchführbaren Entscheidungsalternativen

Aufgrund der zahlreichen zur Verfügung stehenden Sanierungsverfahren entsteht eine umfangreiche und unübersichtliche Ergebnismatrix (*siehe Tabelle 7-02*). Um die Entscheidungsfindung im Rahmen der Nutzwertanalyse zu vereinfachen, ist es hilfreich, mögliche Handlungsalternativen, aber auch Entscheidungskriterien, zu reduzieren. Unter der Vielzahl an Entscheidungskriterien existieren mehrere K.O.-Kriterien, die unter bestimmten Voraussetzungen zum Ausschluss von Sanierungsverfahren führen, allerdings durch ihre Form der Ausprägung keine Relevanz für die Gewichtung in Bezug auf andere Sanierungsverfahren haben. Diese Kriterien werden somit komplett ausgeschlossen und nicht in der zum Ergebnis führenden Entscheidungsmatrix abgebildet.

In diesem Zusammenhang können technische und nicht-technische (ökonomische und ökologische) K.O.-Kriterien unterschieden werden. Die technischen K.O.-Kriterien sorgen hierbei dafür, dass je nach Ausprägung ein oder mehrere Sanierungsverfahren **aus technischer Sicht** nicht anwendbar sind und es zum Ausschluss dieser Verfahren kommt. Die nicht-technischen K.O.-Kriterien hingegen liegen im **Ermessensspielraum des Entscheiders**. D.h., der Entscheider besitzt über die technischen Aspekte hinaus die Möglichkeit, individuelle Entscheidungen bzgl. der ökonomischen und ökologischen Kriterien zu treffen, in dem er Randbedingungen schafft, die in Bezug auf ein einzelnes Kriterium von den Sanierungsverfahren erfüllt werden muss (z.B. die direkten Kosten dürfen 500 €/m nicht überschreiten). Dadurch schafft es der Entscheider zusätzliche Sanierungsverfahren auszuschließen und das Entscheidungsproblem reduziert sich weiter.

Zur Auswahl der technisch durchführbaren Entscheidungsalternativen werden im ersten Schritt die Bestandsdaten der Haltung erfasst. Dies geschieht im vorliegenden Beispiel durch Auswahl der Standortdaten in der Eingabemaske. Anschließend werden die Bestandsdaten aus einer vorhandenen Beispieldatenbank ausgelesen und zur Kontrolle angezeigt. Für Kommunen würde sich an dieser Stelle eine Verknüpfung mit dem Kanalkataster des Entwässerungsunternehmens anbieten, wodurch keine neue Datenbank angelegt werden müsste und vorhandene Ressourcen genutzt werden könnten. Wie in *Abbildung 7-02* dargestellt, wird vom Entscheider die Eingabe der Stadt, des Stadtteils, des Startschachts sowie des Endschachts zur Wahl einer Haltung gefordert.

**Abbildung 7-02:** Eingabemaske Standortdaten

Aus der Beispieldatenbank erhält der Entscheider die Bestandsdaten, wie z.B. *Baujahr, Haltungslänge, Tiefenlage, Gefälle, Querschnittsform, Rohrmaterial* und *Nennweite* der betreffenden Haltung. Diese werden dem Entscheider zur Kontrolle angezeigt (*siehe Abbildung 7-03*).

	A	B
1	<b>Projektdate:</b>	
2		
3	Stadt:	Boxberg
4	Stadtteil:	Oberschüpf
5	Startschacht Nr.:	M20
6	Endschacht Nr.:	M21
7		
8	Baujahr:	1965
9	Gefälle:	1,50%
10	Profilart:	Kreis
11	Werkstoff:	SB
12	Nennweite:	DN 600
13	Tiefenlage:	[m] 2
14	Haltungslänge:	[m] 48
15	Kanalsystem:	Mischsystem
16	Lage des Kanals:	Verkehrsraum
17	vorh. Anschlüsse:	Ja
18		
19	Änderung durch Klimawandel	
20	Sommerniederschlag:	-5 %
21	Winterniederschlag:	+30 %
22		
23	Demografie:	-5 bis 0 %
24		
25		<b>Weiter</b>
26		
27		

**Abbildung 7-03:** Ausgabe der Bestandsdaten der Haltung



Bei den Kriterien „Schadensart“, „Querschnittsreduzierung“ und „vorhandene Anschlüsse“ handelt es sich um **K.O.-Kriterien mit Relevanz für die Zielerfüllung**. Diese Entscheidungskriterien können demnach an dieser Stelle für den Ausschluss eines oder mehrerer Sanierungsverfahren sorgen. Durch die Art der Ausprägung dieser Entscheidungskriterien können die im Entscheidungsprozess verbleibenden Sanierungsverfahren gewichtet werden, wodurch diese Kriterien einen Einfluss (Relevanz) auf die Wahl des geeigneten Sanierungsverfahrens (Zielerfüllung) erfahren und somit in der Entscheidungsmatrix enthalten bleiben.

**Beispiel:** Liegt als Schadensart eine Verformung vor, so werden u.a. die Sanierungsverfahren „Injektionsverfahren mit Gel“ und „Zulaufanbindung mit Injektionsverfahren“ (*siehe Tabelle 7-03*) ausgeschlossen, da sie für diese Schadensart „nicht geeignet“ sind. In Bezug auf alle anderen Sanierungsverfahren ist die „Verformung“ entweder „nicht empfehlenswert“, „bedingt anwendbar“, „anwendbar“ oder „besonders empfehlenswert“, wodurch eine Bewertung ermöglicht wird, da die Sanierungsverfahren für die Schadensart „Verformung“ im Bewertungsschema entweder mit dem Zielerfüllungsgrad „gering“, „mittel“ oder „hoch“ eingestuft werden können.

Im Vergleich dazu handelt es sich bei den Kriterien „Nennweite“, „Werkstoff“, „Profilart“, „Wiederherstellung der statischen Tragfähigkeit“ und „Verbesserung der Bettungssituation“ um **K.O.-Kriterien ohne Relevanz für die Zielerfüllung**. Diese Kriterien besitzen demnach eine eindeutige „ja-nein“-Ausprägung. Wird das Kriterium nicht erfüllt, so werden ein oder mehrere Verfahren ausgeschlossen. Wird das Kriterium erfüllt, so hat es auf alle übrigen Sanierungsverfahren die gleiche Wirkung, es fehlt eine differenzierte Bewertungsmöglichkeit, das Kriterium kann komplett aus der Bewertung herausgenommen werden.

**Beispiel:** Wird das Kriterium „Nennweite“, z.B. DN 600, bei einer schadhaften Haltung betrachtet, so werden die Sanierungsverfahren „Close-Fit-Lining“ und „Flutungsverfahren“ ausgeschlossen, da diese Verfahren lediglich für Nennweiten bis DN 450 und DN 500 (*siehe Tabelle 7-02*) anwendbar sind. Alle anderen Sanierungsverfahren sind bei dieser Nennweite anwendbar, wobei über die Qualität der Einsetzbarkeit keine Aussage getroffen werden kann. Es ist keine differenzierte Bewertung bzgl. der Nennweite möglich. Das Kriterium „Nennweite“ kann demnach aus der Gesamtbetrachtung (Entscheidungsmatrix) ausgeschlossen werden.

Im vorliegenden Handlungsbeispiel wurden bei der Inspektion an der Haltung die Schäden „Verformung“ (Schaden 1), „Rissbildung am Rohrumfang“ (Schaden 2) sowie „In-/Exfiltration“ (Schaden 3) festgestellt. Zudem ist weder eine Wiederherstellung der statischen Tragfähigkeit noch eine Verbesserung der Bettungssituation erforderlich. Die hydraulische Berechnung ergab, dass eine Querschnittsreduzierung zulässig ist und nicht zwingend vermieden werden muss. Allerdings müssen die vorhandenen Hausanschlüsse durch das Sanierungsverfahren wieder hergestellt werden. Die Haltung liegt darüber hinaus im Grundwasser, wodurch je nach Sanierungsverfahren eine Grundwasserabsenkung erforderlich sein kann (*siehe Tabelle 7-02*).

	A	B	C	D	E
1	<b>Projektdaten:</b>				
2					
3	Stadt:	Boxberg			
4	Stadtteil:	Oberschönf			
5	Startschacht Nr.:				
6	Endschacht Nr.:				
7					
8	Baujahr:				
9	Gefälle:	1,2			
10	Profilart:	K			
11	Werkstoff:				
12	Nennweite:	DN			
13	Tiefenlage:	[m]			
14	Haltungslänge:	[m]			
15	Kanalsystem:	Misch			
16	Lage des Kanals:	Verke			
17	vorh. Anschlüsse:				
18					
19	Änderung durch Klimawandel				
20	Sommerniederschlag:				
21	Winterniederschlag:				
22					
23	Demografie:	-5			
24					
25					
26					
27					

**Technische Kriterien**

Welche Schadensart liegt vor?

Schaden 1:

Schaden 2:

Schaden 3:

Schaden 4:

Wiederherstellung der stat. Tragfähigkeit ist erforderlich ☐

Verbesserung der Bettungssituation ist erforderlich ☐

Querschnittsreduzierung muss vermieden werden ☐

Wiederherstellung von Zulaufanbindungen ist erforderlich ☒

Haltung liegt im Grundwasser ☒

**OK**

**Abbildung 7-05:** Eingabemaske „technische Kriterien“ (ausgefüllt)

Je nachdem welche Rahmenbedingungen vorliegen, können die technischen Kriterien zur Reduzierung der Komplexität im Entscheidungsprozess beitragen. Durch Kenntnis über die Ausprägung der Entscheidungskriterien lassen sich diese in K.O.-Kriterien mit und ohne Relevanz zur Zielerfüllung untergliedern. Somit ist nachvollziehbar, welche Kriterien bei entsprechender Ausprägung zum Ausschluss eines oder mehrerer Sanierungsverfahren führt oder keinen Einfluss auf die Wahl geeigneter Sanierungsverfahren besitzt und somit selbst aus der Betrachtung (Entscheidungsmatrix) herausgenommen wird (K.O.-Kriterien ohne Relevanz zur Zielerfüllung). Bekannt sind dann auch diejenigen Kriterien, die ebenfalls zum Ausschluss eines oder mehrerer Sanierungsverfahren führen können und zusätzlich für die Gewichtung der Kriterien sorgen. Somit kann eine Bewertung der in Frage kommenden Sanierungsverfahren vorgenommen werden (K.O.-Kriterien mit Relevanz zur Zielerfüllung).

Im Haltungsbeispiel muss für jedes Kriterium unter Berücksichtigung der Vorgaben und Rahmenbedingungen der Haltung geprüft werden, welche Sanierungsverfahren ausgeschlossen werden können und welche Kriterien keine Auswirkungen auf die Zielerfüllung haben. Hierzu werden die Informationen aus der Ergebnismatrix verwendet (*siehe Tabelle 7-02 und Tabelle 7-03*). Die Analyse der Kriterien bringt folgende Ergebnisse:

1. In den „Projektdaten“ wird die **Nennweite** mit DN 600 angegeben, d.h. es fallen diejenigen Sanierungsverfahren raus, die für DN 600 nicht einsetzbar sind, nämlich
  - Flutungsverfahren und
  - Close-Fit-Lining.

Auf die restlichen Sanierungsverfahren hat das Kriterium aufgrund seiner eindeutigen „ja-nein“-Ausprägung keinen Einfluss, es besteht auch keine Gewichtungsmöglichkeit in Bezug auf die Sanierungsverfahren. Das Entscheidungskriterium wird somit aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen.

2. Beim Kriterium **Werkstoff** handelt es sich im Beispiel um Stahlbeton. Jedes Verfahren ist bei diesem Werkstoff anwendbar. Dieses Kriterium führt dementsprechend nicht zum Ausschluss eines Sanierungsverfahrens. Darüber hinaus besitzt es durch die eindeutige „ja-nein“-Ausprägung keine Relevanz für die Zielerfüllung und wird somit ebenfalls aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen.
3. Es liegt ein **Kreisprofil** vor, so dass ebenfalls jedes Verfahren zum Einsatz kommen kann. Dieses Kriterium führt dementsprechend nicht zum Ausschluss eines Sanierungsverfahrens. Darüber hinaus besitzt es durch die eindeutige „ja-nein“-Ausprägung keine Relevanz für die Zielerfüllung und wird somit ebenfalls aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen.
4. Zur Sanierung der **Schadensart „Verformung“** sind einige Sanierungsverfahren nicht geeignet und werden demnach ausgeschlossen; diese sind:
  - Injektionsverfahren mit Gel,
  - Zulaufanbindung mit Injektionsverfahren,
  - Zulaufanbindung mit Roboterverfahren,
  - Zulaufanbindung mit Hutprofil und
  - Horizontal-Spül-Bohr-Verfahren.
5. Die **Schadensart „Rissbildung am Rohrumfang“** führt zum Ausschluss folgender Verfahren:
  - Injektionsverfahren mit Gel und
  - Horizontal-Spül-Bohr-Verfahren.
6. Durch die **Schadensart „In-/Exfiltration“** wird das Verfahren:
  - Horizontal-Spül-Bohr-Verfahrenausgeschlossen.
7. Die **Wiederherstellung der statischen Tragfähigkeit** ist nicht erforderlich. Dadurch wird kein Sanierungsverfahren ausgeschlossen und das Kriterium kann durch die fehlende Relevanz für die Zielerfüllung aus der Betrachtung genommen werden.
8. Eine **Verbesserung der Bettungssituation** ist ebenfalls nicht erforderlich. Das Kriterium wird auch hier aus der Betrachtung genommen, da jedes Verfahren zum Einsatz kommen kann und dieses Kriterium durch die fehlende Relevanz für die Zielerfüllung keinen Einfluss auf die Bewertung der Verfahren untereinander hat.

9. Eine **Querschnittsreduzierung (hydraulische Leistungsfähigkeit)** muss nicht vermieden werden. Die Reduzierung des Querschnitts durch den Einsatz der Verfahren ist demnach zulässig. Durch diesen Aspekt werden zwar keine Sanierungsverfahren ausgeschlossen, es findet allerdings eine Gewichtung der einzelnen Verfahren statt. Da dieses Kriterium eine Relevanz für die Zielerfüllung besitzt und die verschiedenen zur Verfügung stehenden Sanierungsverfahren unterschiedlich bewertet bleibt es in der weiteren Betrachtung enthalten.
10. Die **Wiederherstellung von Zulaufanbindungen** sind erforderlich. Dadurch werden folgende Sanierungsverfahren, die zur Wiederherstellung von Zulaufanbindungen nicht geeignet sind, ausgeschlossen:
- Injektionsverfahren mit Gel,
  - Edelstahlmanschette mit Flächenelastomeren,
  - Edelstahlmanschetten mit Verklebung.

Für alle anderen Verfahren bleibt dieses Kriterium in der weiteren Betrachtung enthalten, da es neben dem Ausschluss der genannten Verfahren, alle anderen Verfahren gewichtet. Das Kriterium besitzt eine Relevanz für die Zielerfüllung, da es die verschiedenen zur Verfügung stehenden Sanierungsverfahren unterschiedlich bewertet.

Durch die Analyse der Kriterien gelingt es, die Komplexität der Ergebnismatrix zu „entschärfen“. Im Übergang von Ergebnismatrix zu Entscheidungsmatrix können zum einen Sanierungsverfahren ausgeschlossen werden. Zum anderen lassen sich die gesamten Entscheidungskriterien auf die Kriterien mit Relevanz für die Zielerfüllung reduzieren. Im nachfolgenden Abschnitt wird dargestellt, wie die Transformation der Ergebnisse zur Entscheidungsfindung durchgeführt wird.

### 7.2.3 Darstellung der Entscheidungsmatrix (Transformation der Ergebnisse)

Anhand des Bewertungsschemas kann die Ergebnismatrix in die Entscheidungsmatrix transformiert werden. Im Bewertungsschema wird zu jedem Kriterium eine Ausprägung definiert, die wiederum anhand einer vorgegeben Skalierung eine Bewertung in Bezug auf die Zielerfüllung zulässt. Eine geringe Zielerfüllung wird hierbei in der Skalierung mit „1“, eine hohe Zielerfüllung mit „9“ bewertet (*siehe Abbildung 7-06*).

In der Ergebnismatrix sind die Zusammenhänge zwischen Entscheidungskriterium und Sanierungsverfahren durch die entsprechende Ausprägung dargestellt. Drückt man die Ausprägungen mithilfe des Bewertungsschemas als Zahlenwerte aus, so erhält man eine „skalierte“ Entscheidungsmatrix. Dadurch wird jedem zur Auswahl stehenden Sanierungsverfahren in Bezug auf jedes relevante Kriterium ein Zielerfüllungsgrad zugeordnet.


Der gewählte Strategiemix der Kommune wird an dieser Stelle bereits über das Entscheidungskriterium „Nutzungsdauer“ in das Verfahren eingebunden. Durch die Festlegung der Basisvariante steht durch priorisierte Anwendung der Substanzwertstrategie und Mehrspartenstrategie der Einsatz von Erneuerungsverfahren und umfangreichen Renovierungsverfahren im Vordergrund. Die Zielerfüllung im Bewertungsschema wird bei der Nutzungsdauer dementsprechend von der Kom-



mune für lange Nutzungsdauer (>90 Jahre) mit „Hoch (9)“ und für kurze Nutzungsdauer (<10 Jahre) mit „Gering (1)“ vorgegeben.

In der nachfolgenden *Tabelle 7-09* bleiben die durch die K.O.-Kriterien ausgeschlossenen Sanierungsverfahren sowie die in diesem Beispiel nicht zur Zielerfüllung relevanten Entscheidungskriterien unberücksichtigt. Die dadurch reduzierte Entscheidungsmatrix für das Handlungsbeispiel stellt sich wie folgt dar:<sup>479</sup>

**Tabelle 7-09:** Entscheidungsmatrix des Handlungsbeispiels (Auszug)

	A	B	C	D	E	F
		Injektions- verf. mit Harz	Roboter- verfahren	Vor Ort härtende Kurzhliner	Partielle Erneuerung	Rohrstrang- Lining
1						
2	Schadensart gemäß DIN 13508-2	9,00	6,00	6,00	9,00	9,00
3	hydr. Leistungsfähigkeit (Querschnittsreduzierung)	9,00	9,00	6,00	9,00	1,00
4	Wiederherstellung Zulaufanbindung	1,00	1,00	1,00	9,00	9,00
5	Vorbereitende Maßnahmen für die Sanierung	5,00	5,00	2,33	6,33	3,67
6	Max. Arbeitsabschnitt [m]	9,00	5,00	5,00	9,00	9,00
7	<b>Technische Eignung</b>					
8	Grundwasserabsenkung	9,00	5,00	5,00	1,00	5,00
9	Verkehrsbeeinträchtigung	7,00	9,00	7,00	1,00	1,00
10	Verträglichkeit für Bäume / Boden / Gewässer	9,00	9,00	9,00	1,00	9,00
11	Beeinträchtigung durch Lärm / Staub	9,00	9,00	9,00	1,00	5,00
12	Erschütterungen	9,00	9,00	9,00	1,00	3,00
13	Wasserrechtliche Genehmigung	9,00	9,00	9,00	1,00	9,00
14	<b>Schutz der Umwelt</b>					
15	Kosten	5,00	8,00	6,00	4,00	7,00
16	Nutzungsdauer	3,50	3,00	2,00	7,50	8,00
17	Bauzeit	5,00	9,00	9,00	1,00	5,00
18	<b>Wirtschaftlichkeit</b>					
19						
20	<b>Gesamtnutzen</b>					

Die Kriterien „Schadensart“, „vorbereitende Maßnahmen“ und „Verkehrsbeeinträchtigung“ sind „Kriteriums-Hauptgruppen“, die aus mindestens zwei Teilaspekten bestehen. Zur Wahrung der Übersichtlichkeit werden demnach separate Ermittlungen des Zielerfüllungsgrads für diese Kriterien angefertigt. In *Tabelle 7-10* ist das Bewertungsschema „Schadensart“ noch einmal auszugsweise abgebildet. Zur Ermittlung des Zielerfüllungsgrads für die technisch durchführbaren Sanierungsverfahren werden lediglich die drei im Handlungsbeispiel auftretenden Schäden „Verformung“, „Rissbildung am Rohrumfang“ und „In-/Exfiltration“ (gelb markiert) berücksichtigt.

<sup>479</sup> vollständige Tabelle siehe Anhang (Tabelle A-05)



**Tabelle 7-10:** Entscheidungsmatrix „Schadensart“ (Auszug)<sup>480</sup>

	Injektions- verfahren mit Harz	Roboter- verfahren	Vor Ort härtende Kurzliner	Partielle Erneuerung	Rohrstrang- Lining
<b>Schadensart gemäß DIN 13508-2</b>					
Verformung	xxx	x	x	xxx	xxx
Rissbildung in Längsrichtung	xxx	xx	xx	xxx	xxx
Rissbildung am Rohrumfang	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Rohrbruch	xxx	xxx	xx	xxx	xxx
Einsturz	x	x	o	xxx	oo
Oberflächenschaden durch mechanische Beschädigung	oo	xx	xxx	xxx	xxx
Oberflächenschaden durch Korrosion	oo	x	xxx	xxx	xxx
Einragender / schadhafter Anschluss	oo	oo	oo	xxx	oo
Einragendes Dichtungsmaterial	x	xxx	xxx	xxx	xxx
Verschobene Verbindung	xx	xxx	xxx	xxx	xxx
Schadhafte Innenauskleidung	o	xxx	xxx	xxx	x
In-/Exfiltration (sichtbare Undichtigkeit)	xxx	xx	xx	xxx	xxx
<b>Bewertungsschema:</b>	Ausschluss (K.O.)		oo = nicht geeignet		
	1		o = nicht empfehlenswert		
	3		x = bedingt anwendbar		
	6		xx = anwendbar		
	9		xxx = besonders empfehlenswert		
Verformung	9	3	3	9	9
Rissbildung am Rohrumfang	9	9	9	9	9
In-/Exfiltration (sichtbare Undichtigkeit)	9	6	6	9	9
<b>Schadensart gemäß DIN 13508-2</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>9</b>

Die Ermittlung des Zielerfüllungsgrads für die Schadensarten „vorbereitende Maßnahmen“ und „Verkehrsbeeinträchtigung“ sind in der *Tabelle 7-11* und *Tabelle 7-12* dargestellt:

<sup>480</sup> vollständige Tabelle *siehe Anhang (Tabelle A-06)*

**Tabelle 7-11:** Entscheidungsmatrix „vorbereitende Maßnahmen“ (Auszug)<sup>481</sup>

	Injektions- verfahren mit Harz	Roboter- verfahren	Vor Ort härtende Kurzliner	Partielle Erneuerung	Rohrstrang- Lining
<b>Vorbereitende Maßnahmen für die Sanierung</b>					
Reinigen	ja	ja	ja	nein	ja
Beseitigung von Hindernissen, Wurzeln und Ablagerungen	ja	ja	ja	nein	ja
Verfüllung von Hohlraum	nein	nein	ja	nein	nein
Beseitigung anhaftender Stoffe	ja	nein	ja	nein	nein
Vorflutsicherung	nein	ja	ja	ja	ja
Erstellung Baugrube	nein	nein	nein	ja	ja
<b>Bewertung: ja = 1, nein = 9</b>					
Reinigen	1	1	1	9	1
Beseitigung von Hindernissen, Wurzeln und Ablagerungen	1	1	1	9	1
Verfüllung von Hohlraum	9	9	1	9	9
Beseitigung anhaftender Stoffe	1	9	1	9	9
Vorflutsicherung	9	1	1	1	1
Erstellung Baugrube	9	9	9	1	1
<b>Vorbereitende Maßnahmen für die Sanierung</b>	<b>5,00</b>	<b>5,00</b>	<b>2,33</b>	<b>6,33</b>	<b>3,67</b>

**Tabelle 7-12:** Entscheidungsmatrix „Verkehrsbeeinträchtigung“ (Auszug)<sup>482</sup>

	Injektions- verfahren mit Harz	Roboter- verfahren	Vor Ort härtende Kurzliner	Partielle Erneuerung	Rohrstrang- Lining
<b>Verkehrsbeeinträchtigung</b>					
Baugrube	nein	nein	nein	ja	ja
Platzbedarf an der Baustelle	mittel	gering	mittel	groß	groß
<b>Bewertung:</b>					
Baugrube	nein = 9	ja = 1			
Platzbedarf an der Baustelle	gering = 9	mittel = 5	groß = 1		
Baugrube	9	9	9	1	1
Platzbedarf an der Baustelle	5	9	5	1	1
<b>Verkehrsbeeinträchtigung</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

<sup>481</sup> vollständige Tabelle siehe Anhang (Tabelle A-07)

<sup>482</sup> vollständige Tabelle siehe Anhang (Tabelle A-08)

### 7.2.4 Gewichtung der Kriterien

Um eine schärfere Gewichtung der Kriterien zu erreichen, wird ein paarweiser Kriterienvergleich vorgenommen. Die Transparenz und die Nachvollziehbarkeit des Verfahrens werden dadurch erhöht und der Entscheider hat die Möglichkeit individuell festzulegen, inwieweit ein Kriterium ein anderes dominiert. Die Kriteriengewichtung erfolgt durch Abfrage des Entscheiders, stringent nach Vorgabe der Zielhierarchie unter Berücksichtigung aller übergeordneten strategischen Überlegungen (in diesem Beispiel Strategiemix „Basisvariante“) und individuellen Randbedingungen der betrachteten Haltung. Die erste Vergleichsabfrage startet in der zweiten Hierarchieebene, den Nebenzielen, und kann beispielsweise vom Entscheider folgendermaßen ausgewählt werden:

	A	B	C	D	E	F
	<b>Weiter</b>	<b>Injektions- verf. mit</b>	<b>Roboter- verfahren</b>	<b>Vor Ort härtende</b>	<b>Partielle Erneuerung</b>	<b>Rohrstrang- Lining</b>
1						
2	Schadensart gemäß					9,00
3	hydr. Leistungsfähigkeit (Querschnittsreduzierung)					1,00
4	Wiederherstellung					9,00
5	Vorbereitende Maßnahmen die Sanierung					3,67
6	Max. Arbeitsabschluß					9,00
7	<b>Technische Eignung</b>					
8	Grundwasserabsenkung					5,00
9	Verkehrsbeeinträchtigung					1,00
10	Verträglichkeit für Boden / Gewässer					9,00
11	Beeinträchtigung der Landschaft					5,00
12	Erschütterungen					3,00
13	Wasserrechtliche Genehmigung	9,00	9,00	9,00	1,00	9,00
14	<b>Schutz der Umwelt</b>					

**Kriteriengewichtung**

Legen Sie, in der unten folgenden Abfrage, die Gewichtung der Kriterien anhand einer Skala von 1 bis 9 fest!

Bewertungsskala:  
 Kriterium 1 ist sehr viel wichtiger als Kriterium 2 -> 9  
 Kriterium 1 ist genauso wichtig wie Kriterium 2 -> 1  
 Kriterium 2 ist sehr viel wichtiger als Kriterium 1 -> 1/9

Kriterium 1	Kriterium 2	Gewichtung
Techn. Eignung	Umweltschutz	3
Techn. Eignung	Wirtschaftlichkeit	0,50
Umweltschutz	Wirtschaftlichkeit	0,167

**OK**

**Abbildung 7-06:** Eingabemaske der Kriteriengewichte der Nebenziele

Die Bewertungsskala legt die Möglichkeit zur Gewichtung der Kriterien von 1 bis 9 fest. Die „technische Eignung“ wird gegenüber dem „Umweltschutz“ als wichtiger eingestuft („3“). Die „Wirtschaftlichkeit“ wird aufgrund der gewählten Mehrspartenstrategie, die den Kostenaspekt in den Vordergrund rückt sowohl der „technischen Eignung“ als auch dem „Umweltschutz“ gegenüber als wichtiger angesehen. Da die „Wirtschaftlichkeit“ im paarweisen Vergleich jeweils das zweite Kriterium darstellt, drückt sich die Überlegenheit durch den Kehrwert aus ( $1/2 = „0,50“$  und  $1/6 = „0,167“$ ).

In der dritten Hierarchieebene sind die einzelnen Entscheidungskriterien der Nebenziele abgebildet. Der paarweise Vergleich zur Gewichtung der Kriterien des Nebenziels „technische Eignung“ enthält die Kriterien „Schadensart“, „Querschnittsreduzierung“, „Wiederherstellung Zulauf“, „Vorbereitende Maßnahmen“ und „Maximaler Arbeitsabschnitt“ und ist in *Abbildung 7-07* dargestellt:

**Kriteriengewichtung**

Legen Sie, in der unten folgenden Abfrage, die Gewichtung der Kriterien anhand einer Skala von 1 bis 9 fest!

Bewertungsskala:  
 Kriterium 1 ist sehr viel wichtiger als Kriterium 2 -> 9  
 Kriterium 1 ist genauso wichtig wie Kriterium 2 -> 1  
 Kriterium 2 ist sehr viel wichtiger als Kriterium 1 -> 1/9

Kriterium 1	Kriterium 2	Gewichtung
Schadensart	Querschnittsreduz.	5
Schadensart	Wiederherst. Zulauf	3
Schadensart	Vorb. Maßnahmen	7
Schadensart	Max. Arbeitsabschn.	9
Querschnittsreduz.	Wiederherst. Zulauf	0,33
Querschnittsreduz.	Vorb. Maßnahmen	3
Querschnittsreduz.	Max. Arbeitsabschn.	5
Wiederherst. Zulauf	Vorb. Maßnahmen	7
Wiederherst. Zulauf	Max. Arbeitsabschn.	7
Vorb. Maßnahmen	Max. Arbeitsabschn.	2

**OK**

**Abbildung 7-07:** Eingabemaske der Kriteriengewichte „technische Eignung“ in der 3. Ebene

Die Gewichtung des Nebenziels „Umweltschutz“ mit den Entscheidungskriterien „Grundwasserabsenkung“, „Verkehrsbeeinträchtigung“, „Verträglichkeit für Bäume / Boden / Gewässer“, „Beeinträchtigung durch Lärm und Staub“, „Erschütterungen“ und „Wasserrechtliche Genehmigungen“ ist in *Abbildung 7-08* gezeigt:



**Kriteriengewichtung**

Legen Sie, in der unten folgenden Abfrage, die Gewichtung der Kriterien anhand einer Skala von 1 bis 9 fest!

**Bewertungsskala:**  
 Kriterium 1 ist sehr viel wichtiger als Kriterium 2 -> 9  
 Kriterium 1 ist genauso wichtig wie Kriterium 2 -> 1  
 Kriterium 2 ist sehr viel wichtiger als Kriterium 1 -> 1/9

Kriterium 1	Kriterium 2	Gewichtung
Grundwasserabsenk.	Verkehrsbeintr.	0,50
Grundwasserabsenk.	Vertr. Natur	3
Grundwasserabsenk.	Beintr. Lärm/Staub	3
Grundwasserabsenk.	Erschütterungen	7
Grundwasserabsenk.	Wasserrecht. Geneh	9
Verkehrsbeintr.	Vertr. Natur	5
Verkehrsbeintr.	Beintr. Lärm/Staub	5
Verkehrsbeintr.	Erschütterungen	9
Verkehrsbeintr.	Wasserrecht. Geneh	9
Vertr. Natur	Beintr. Lärm/Staub	1
Vertr. Natur	Erschütterungen	3
Vertr. Natur	Wasserrecht. Geneh	3
Beintr. Lärm/Staub	Erschütterungen	2
Beintr. Lärm/Staub	Wasserrecht. Geneh	2
Erschütterungen	Wasserrecht. Geneh	1

**OK**

**Abbildung 7-08:** Eingabemaske der Kriteriengewichte „Umweltschutz“ in der 3. Ebene

Auch das Nebenziel „Wirtschaftlichkeit“ wird bewertet, in dem das Kriterium „Kosten“ gegenüber der „Nutzungsdauer“ und der „Bauzeit“ als wichtiger angesehen wird. Die Nutzungsdauer besitzt gegenüber der Bauzeit eine höhere Priorität (siehe Abbildung 7-09).

	A	B	C	D	E
1	<b>Kriteriengewichtung</b>				
2					
3					
4	<b>Technische Eigenschaften</b>				0,33
5	<b>Schutz der Umwelt</b>				0,33
6	<b>Wirtschaftlichkeit</b>				0,33
7					1,00
8					
9					
10					
11	Schadensart				VMfdS
12	Querschnittsrechnung				1
13	Wiederherst. Zustand				1
14	Vorber. Maßnahmen				1,00
15	Max. Arbeitsabsatz				1,00
16					2,00
17					
18					
19					
20	Grundwasserabsatz				BdLS
21	Verkehrsbeeinträchtigung				3
22	Verträglichkeit				5
23	Beeinträchtigung durch Lärm / Staub	0,33	0,20	1,00	1,00
24	Erschütterungen	0,14	0,11	0,33	0,50
25	Wasserrechtliche Genehmigung	0,11	0,11	0,33	0,50
26		3,92	1,62	2,67	2,00
27					

**Kriteriengewichtung**

Legen Sie, in der unten folgenden Abfrage, die Gewichtung der Kriterien anhand einer Skala von 1 bis 9 fest!

Bewertungsskala:  
 Kriterium 1 ist sehr viel wichtiger als Kriterium 2 -> 9  
 Kriterium 1 ist genauso wichtig wie Kriterium 2 -> 1  
 Kriterium 2 ist sehr viel wichtiger als Kriterium 1 -> 1/9

Kriterium 1	Kriterium 2	Gewichtung
Kosten	Nutzungsdauer	2
Kosten	Bauzeit	7
Nutzungsdauer	Bauzeit	5

OK

**Abbildung 7-09:** Eingabemaske der Kriteriengewichte „Wirtschaftlichkeit“ in der 3. Ebene

Parallel zur Eingabe der Gewichtung im paarweisen Vergleich der einzelnen Entscheidungskriterien werden die festgelegten Gewichtungen in der Berechnungsmatrix abgebildet und die entsprechenden Kriteriengewichte bestimmt.

**Tabelle 7-13:** Berechnungsmatrix der Kriteriengewichte (Auszug)<sup>483</sup>

Kriteriengewichtung							
	techn. E	SdU	WK				
Technische Eignung	1,00	3,00	0,50	0,30			
Schutz der Umwelt	0,33	1,00	0,17	0,10			
Wirtschaftlichkeit	2,00	5,99	1,00	0,60			
	3,33	9,99	1,67	1,00			
	SchA	QR	WZ	VMfdS	Max. AA		
Schadensart	1,00	5,00	3,00	7,00	9,00	0,50	
Querschnittsreduzierung	0,20	1,00	0,33	3,00	5,00	0,13	
Wiederherst. Zulaufanb.	0,33	3,03	1,00	7,00	7,00	0,28	
Vorber. Maßnahmen für die Sanierung	0,14	0,33	0,14	1,00	2,00	0,06	
Max. Arbeitsabschnitt	0,11	0,20	0,14	0,50	1,00	0,04	
	1,79	9,56	4,62	18,50	24,00	1,00	
	GWA	VB	VfBBG	BdLS	Ersch.	WG	
Grundwasserabsenkung	1,00	0,50	3,00	3,00	7,00	9,00	0,30
Verkehrsbeeinträchtigung	2,00	1,00	5,00	5,00	9,00	9,00	0,43
Verträglichkeit für Bäume / Boden / Gewässer	0,33	0,20	1,00	1,00	3,00	3,00	0,11
Beeinträchtigung durch Lärm / Staub	0,33	0,20	1,00	1,00	2,00	2,00	0,09
Erschütterungen	0,14	0,11	0,33	0,50	1,00	1,00	0,04
Wasserrechtliche Genehmigung	0,11	0,11	0,33	0,50	1,00	1,00	0,04
	3,92	2,12	10,67	11,00	23,00	25,00	1,00
	K	ND	BZ				
Kosten	1,00	2,00	7,00	0,59			
Nutzungsdauer	0,50	1,00	5,00	0,33			
Bauzeit	0,14	0,20	1,00	0,08			
	1,64	3,20	13,00	1,00			

**Weiter**

## 7.2.5 Ermittlung der Teil- und Gesamtnutzwerte

Durch die Transformation der Ergebnismatrix in die Entscheidungsmatrix mithilfe des Bewertungsschemas und die Gewichtung der einzelnen Entscheidungskriterien lassen sich die Teilnutzwerte der Handlungsalternativen bezüglich der jeweiligen Kriterien ermitteln. Dies erfolgt durch Multiplikation der Kriteriengewichtung mit den skalierten Ergebnissen. Anschließend werden die Teilnutzwerte der dritten Zielebene zum Teilnutzwert der zweiten Ebene aggregiert. Der Gesamtnutzwert je Handlungsalternative bildet das Ergebnis des Hauptziels (erste Ebene) ab. Er ergibt sich aus den Teilnutzwerten der zweiten Ebene unter Berücksichtigung der jeweiligen Gewichtung (*siehe Tabelle 7-14*).

<sup>483</sup> Die abgebildete Berechnungsmatrix enthält keine Zwischenrechen Schritte; Die vollständige Tabelle ist *im Anhang (Tabelle A-09)* abgebildet.

**Tabelle 7-14:** Entscheidungsmatrix mit Kriteriengewichtung (Auszug)<sup>484</sup>

	Kriterien gewichtung	Injektionsverf. mit Harz		Roboter- verfahren		Vor Ort härtende Kurzliner		Partielle Erneuerung		Rohrstrang- Lining	
Schadensart gemäß DIN 13508-2	0,50	9,00	4,48	6,00	2,99	6,00	2,99	9,00	4,48	9,00	4,48
Querschnittsreduzierung	0,13	9,00	1,19	9,00	1,19	6,00	0,79	9,00	1,19	1,00	0,13
Wiederherstellung Zulaufanbindung	0,28	1,00	0,28	1,00	0,28	1,00	0,28	9,00	2,50	9,00	2,50
Vorber. Maßnahmen für Sanierung	0,06	5,00	0,28	5,00	0,28	2,33	0,13	6,33	0,35	3,67	0,21
Max. Arbeitsabschnitt [m]	0,04	9,00	0,32	5,00	0,18	5,00	0,18	9,00	0,32	9,00	0,32
<b>Technische Eignung</b>	0,30		<b>6,55</b>		<b>4,91</b>		<b>4,37</b>		<b>8,85</b>		<b>7,65</b>
Grundwasserabsenkung	0,30	9,00	2,69	5,00	1,49	5,00	1,49	1,00	0,30	5,00	1,49
Verkehrsbeeinträchtigung	0,43	7,00	2,99	9,00	3,85	7,00	2,99	1,00	0,43	1,00	0,43
Verträglichkeit für Bäume / Boden / Gewässer	0,11	9,00	0,96	9,00	0,96	9,00	0,96	1,00	0,11	9,00	0,96
Beeinträchtigt. durch Lärm / Staub	0,09	9,00	0,78	9,00	0,78	9,00	0,78	1,00	0,09	5,00	0,44
Erschütterungen	0,04	9,00	0,37	9,00	0,37	9,00	0,37	1,00	0,04	3,00	0,12
Wasserrechtliche Genehmigung	0,04	9,00	0,36	9,00	0,36	9,00	0,36	1,00	0,04	9,00	0,36
<b>Schutz der Umwelt</b>	0,10		<b>8,14</b>		<b>7,81</b>		<b>6,95</b>		<b>1,00</b>		<b>3,79</b>
Kosten	0,59	5,00	2,95	8,00	4,73	6,00	3,54	4,00	2,36	7,00	4,13
Nutzungsdauer	0,33	3,50	1,17	3,00	1,00	2,00	0,67	7,50	2,50	8,00	2,67
Bauzeit	0,08	5,00	0,38	9,00	0,68	9,00	0,68	1,00	0,08	5,00	0,38
<b>Wirtschaftlichkeit</b>	0,60		<b>4,50</b>		<b>6,40</b>		<b>4,89</b>		<b>4,94</b>		<b>7,18</b>
<b>Gesamtnutzen</b>			<b>5,48</b>		<b>6,10</b>		<b>4,94</b>		<b>5,72</b>		<b>6,98</b>
<b>Sensitivitätsanalyse</b>		<b>Rangfolge</b>									

### 7.2.6 Sensitivitätsanalyse

Die Sensitivitätsanalyse dient dazu, die Stabilität der Ergebnisse zu prüfen. Hierzu werden die Kriteriengewichte verändert. Im Beispiel werden die in der zweiten Ebene („Wirtschaftlichkeit“) und dritten Ebene („Kosten“, „Verkehrsbeeinträchtigung“ und „Schadensart“) am höchsten bewerteten Kriterien um „0,08“ reduziert (frei gewählt) und die anderen Kriterien in der entsprechenden Ebene anteilmäßig erhöht (z.B. zweite Ebene: „Nutzungsdauer“ und „Bauzeit“, Erhöhung um jeweils „0,04“; siehe Tabelle 7-15).

<sup>484</sup> vollständige Tabelle siehe Anhang (Tabelle A-10)



**Tabelle 7-15:** Sensitivitätsanalyse (Auszug)<sup>485</sup>

	Kriterien- gewichtung	Sensibilitäts- analyse	Sensibilitäts- analyse	Injektionsverf. mit Harz		Roboter- verfahren		Vor Ort härtende Kurzliner		Partielle Erneuerung		Rohrstrang- Lining	
Schadensart gemäß DIN 13508-2	0,50	-0,08	0,42	9,00	3,76	6,00	2,51	6,00	2,51	9,00	3,76	9,00	3,76
Querschnittsreduzierung	0,13	0,02	0,15	9,00	1,37	9,00	1,37	6,00	0,91	9,00	1,37	1,00	0,15
Wiederherstellung Zulaufanbindung	0,28	0,02	0,30	1,00	0,30	1,00	0,30	1,00	0,30	9,00	2,68	9,00	2,68
Vorber. Maßnahmen für Sanierung	0,06	0,02	0,08	5,00	0,38	5,00	0,38	2,33	0,18	6,33	0,48	3,67	0,28
Max. Arbeitsabschnitt [m]	0,04	0,02	0,06	9,00	0,50	5,00	0,28	5,00	0,28	9,00	0,50	9,00	0,50
Technische Eignung	0,30	0,04	0,34		6,31		4,83		4,18		8,80		7,38
Grundwasserabsenkung	0,30	0,016	0,31	9,00	2,83	5,00	1,57	5,00	1,57	1,00	0,31	5,00	1,57
Verkehrsbeeinträchtigung	0,43	-0,08	0,35	7,00	2,43	9,00	3,13	7,00	2,43	1,00	0,35	1,00	0,35
Verträglichkeit für Bä / Bo / Gew	0,11	0,016	0,12	9,00	1,10	9,00	1,10	9,00	1,10	1,00	0,12	9,00	1,10
Beeinträchtigt durch Lärm / Staub	0,09	0,016	0,10	9,00	0,93	9,00	0,93	9,00	0,93	1,00	0,10	5,00	0,52
Erschütterungen	0,04	0,016	0,06	9,00	0,51	9,00	0,51	9,00	0,51	1,00	0,06	3,00	0,17
Wasserrechtliche Genehmigung	0,04	0,016	0,06	9,00	0,50	9,00	0,50	9,00	0,50	1,00	0,06	9,00	0,50
Schutz der Umwelt	0,10	0,04	0,14		8,30		7,74		7,05		1,00		4,21
Kosten	0,59	-0,08	0,51	5,00	2,55	8,00	4,09	6,00	3,06	4,00	2,04	7,00	3,57
Nutzungsdauer	0,33	0,04	0,37	3,50	1,31	3,00	1,12	2,00	0,75	7,50	2,80	8,00	2,99
Bauzeit	0,08	0,04	0,12	5,00	0,58	9,00	1,04	9,00	1,04	1,00	0,12	5,00	0,58
Wirtschaftlichkeit	0,60	-0,08	0,52		4,44		6,24		4,85		4,96		7,14
Gesamtnutzen					5,62		5,97		4,93		5,71		6,81

Im Vergleich der Gesamtnutzwerte der Sensibilitätsanalyse mit der ursprünglichen Rangfolge, lassen sich Änderungen in der Reihenfolge sofort feststellen. Bei Sanierungsverfahren, die im Vergleich des Nutzwertes sehr eng beieinander liegen, kann die Sensibilitätsanalyse zu einem Rangtausch führen (*siehe Tabelle 7-16*).

<sup>485</sup> vollständige Tabelle *siehe Anhang (Tabelle A-11)*

**Tabelle 7-16:** Sensitivitätsanalyse – Rangfolgenvergleich





Sensibilitätsanalyse	Gesamtnutzen	Gesamtnutzen	ursprüngl. Rangordnung
Vor Ort härtendes Schlauchlining	7,17	7,08	Vor Ort härtendes Schlauchlining
Rohrstrang-Lining	6,81	6,98	Rohrstrang-Lining
Wickelrohr-Lining	6,42	6,41	Wickelrohr-Lining
Offene Bauweise	6,17	6,27	Offene Bauweise
Einzelrohr-Lining	6,10	6,15	Einzelrohr-Lining
<b>Berstlining</b>	6,09	6,10	Roboterverfahren
<b>Roboterverfahren</b>	5,97	5,87	Berstlining
<b>Überfahren und Microtunneling</b>	5,79	5,72	Partielle Erneuerung
<b>Partielle Erneuerung</b>	5,71	5,48	Injektionsverf. mit Harz
<b>Injektionsverfahren mit Harz</b>	5,62	5,32	Überfahren und Microtunneling
Vor Ort härtende Kurzliner	4,93	4,94	Vor Ort härtende Kurzliner

### 7.2.7 Rangfolge der Ergebnisse





Unter Berücksichtigung des im Beispiel vorgesehenen Strategiemix „Basisvariante“ kann die Entscheidungsmatrix abschließend in ein Ranking entsprechend den absteigenden Gesamtnutzwerten überführt werden. Zur besseren Transparenz der Rangfolge können neben dem Gesamtnutzen auch die Teilnutzen der zweiten Ebene sortiert werden und demnach für die Nebenziele „Technische Eignung“, „Schutz der Umwelt“ und „Wirtschaftlichkeit“ die jeweils geeignetsten Sanierungsverfahren abgebildet werden.

Für das Handlungsbeispiel ergibt sich das in *Tabelle 7-16* dargestellte Ranking sortiert nach den Gesamtnutzen. Es zeigt sich, dass das „vor Ort härtende Schlauchlining“ das Sanierungsverfahren mit dem höchsten Gesamtnutzen in Bezug auf die vorgegebene Gewichtung darstellt. Auffällig ist, dass sich im oberen Ranking drei Renovierungsverfahren befinden. Zwei Erneuerungsverfahren liegen im Mittelfeld und die Reparaturverfahren, die technisch umsetzbar sind, liegen komplett im unteren Ranking. Dies hat in erster Linie mit der Gewichtungsvorgabe mit Präferenz auf Kosten und Nutzungsdauer durch die im Rahmen der Basisvariante gewählten Strategieansätze Substanzwert-erhalt und Mehrspartenstrategie zu tun. Diese Kriterien ziehen in der Regel einen geringeren Nutzen bei den Reparaturverfahren nach sich.

**Tabelle 7-17:** Entscheidungsmatrix mit Teil- und Gesamtnutzen – ursprüngliche Rangfolge (Auszug)<sup>486</sup>

	Technische Eignung	Schutz der Umwelt	Wirtschaftlichkeit		Gesamtnutzen
Vor Ort härtendes Schlauchlining	8,20	8,14	6,35		7,08
Rohrstrang-Lining	7,65	3,79	7,18		6,98
Wickelrohr-Lining	7,98	6,61	5,59		6,41
Offene Bauweise	8,85	1,00	5,86		6,27
Einzelrohr-Lining	7,65	2,60	6,00		6,15
Roboterfahren	4,91	7,81	6,40		6,10
Berstlining	8,45	3,45	4,98		5,87
Partielle Erneuerung	8,85	1,00	4,94		5,72
Injektionsverf. mit Harz	6,55	8,14	4,50		5,48
Überfahren und Microtunneling	8,85	5,65	3,50		5,32
Vor Ort härtende Kurzliner	4,37	6,95	4,89		4,94
					

**Tabelle 7-18:** Entscheidungsmatrix mit Teil- und Gesamtnutzen – Sensitivitätsanalyse (Auszug)<sup>487</sup>

	Technische Eignung	Schutz der Umwelt	Wirtschaftlichkeit		Gesamtnutzen
Vor Ort härtendes Schlauchlining	8,18	8,30	6,21		7,17
Rohrstrang-Lining	7,38	4,21	7,14		6,81
Wickelrohr-Lining	7,78	6,49	5,51		6,42
Offene Bauweise	8,80	1,00	5,84		6,17
Einzelrohr-Lining	7,38	2,95	6,12		6,10
Berstlining	8,34	3,64	5,28		6,09
Roboterfahren	4,83	7,74	6,24		5,97
Überfahren und Microtunneling	8,80	5,89	3,80		5,79
Partielle Erneuerung	8,80	1,00	4,96		5,71
Injektionsverf. mit Harz	6,31	8,30	4,44		5,62
Vor Ort härtende Kurzliner	4,18	7,05	4,85		4,93
					

<sup>486</sup> vollständige Tabelle siehe Anhang (Tabelle A-12)

<sup>487</sup> vollständige Tabelle siehe Anhang (Tabelle A-13)

### **7.2.8 Zusammenfassung Anwendungsbeispiel**

Die Nutzwertanalyse stellt eine praktikable Möglichkeit dar, das Entscheidungsproblem in der Sanierungsplanung von kommunalen Entwässerungsnetzen zu lösen. Die unter Zuhilfenahme von Excel durchgeführte Anwendung der modifizierten Nutzwertanalyse ist übersichtlich und nachvollziehbar gestaltet. Die Kriteriengewichtung, durch paarweisen Vergleich der Aspekte, in Anlehnung an das AHP-Verfahren, bildet die gewählten Strategieansätze der Basisvariante ab, schafft eine schärfere Differenzierung der Gewichtung und zwingt den Entscheider sich mit den einzelnen Entscheidungskriterien auseinander zu setzen. Dies rechtfertigt den höheren Arbeitsaufwand.

Die Rangfolge der Ergebnisse ist übersichtlich dargestellt und bietet neben der standardmäßigen Ordnung der Sanierungsverfahren nach dem Gesamtnutzwert auch die Möglichkeit, die Verfahren anhand jedes weiteren Nebenziels und den zugehörigen Teilnutzen zu ordnen und zu bewerten. Durch die durchgeführte Sensibilitätsanalyse kann der Entscheider zudem die Stabilität der Ergebnisse prüfen und etwaige Mängel in Bezug auf eine unkorrekte Abbildung der vorgegebenen Sanierungsziele im Bewertungsmodell erkennen.

## 8. Fazit

Die Verwendung ganzheitlicher Lösungsansätze, die neben technischen Erfordernissen auch umweltrelevante, hydraulische, betriebliche und wirtschaftliche Aspekte beinhalten, stellt in der Sanierungsplanung eigentlich den Stand der Technik dar. Trotzdem scheint die in der Praxis von den Entwässerungsbetrieben umgesetzte Sanierungsplanung weder eine verbesserte noch eine nachhaltige Wirkung zu zeigen. Hier setzt diese Arbeit an. Aufgrund ausbleibender Zustandsverbesserung der Entwässerungsnetze trotz ansteigender Investitionen müssen die Sanierungsplanungen der Kommunen geprüft und analysiert werden, um vorhandenes Optimierungspotential zu identifizieren.

Die Forderung nach ganzheitlichen Lösungsansätzen in der Sanierungsplanung zur Instandhaltung von Entwässerungsnetzen, die hier vertreten wird, bedeutet nicht, dass es eine generell auf alle Systeme anwendbare Lösung gibt, die optimiert werden könnte. Die Sanierungsplanungen der Kommunen sind vielmehr aufgrund unterschiedlicher Randbedingungen, die jedes einzelne Entwässerungsnetz aufweist, und unterschiedlicher Ziele, die eine Kommune in der Sanierung verfolgt, von Individualität geprägt und durchaus so komplex, dass ein geschlossener Optimierungsansatz von Netzebene bis zur Haltungsebene nicht als sinnvoll erachtet wird. Es gilt nicht nur der Grundsatz, jedes Bauwerk ist ein Unikat; auch jedes Entwässerungsnetz und jede Sanierungsplanung stellen ein Unikat dar. Dies erfordert von den Entwässerungsbetrieben in der Sanierungsplanung, ihre Zielvorgabe mit Bezug auf den Zustand und die Randbedingungen des eigenen Entwässerungsnetzes individuell zu formulieren.

Im Rahmen dieser Arbeit wird demnach unter Optimierung zweierlei verstanden: Zum einen die Verbesserung der einzelnen Arbeitsschritte in Bezug auf die individuelle Sanierungsplanung eines Entwässerungsbetriebes; zum anderen die Anwendung einer Entscheidungshilfe, die unter Beachtung der verschiedenen Anforderungen einer ganzheitlichen Sanierungsplanung zu einem optimalen Ergebnis führt.

Die Arbeitsschritte der Sanierungsplanung beginnen bei der Vorplanung oder Voruntersuchung des Entwässerungssystems. Im Anschluss wird die Zustandserfassung durch TV-Inspektion durchgeführt und es wird der Ist-Zustand festgestellt, beurteilt und bewertet. Aufgrund der daraus resultierenden Ergebnisse werden ganzheitliche Lösungsansätze erarbeitet. Zu beachten gilt, dass bei der Zustandserfassung neben der prioritätsorientierten Bewertung auch eine substanzwertorientierte Bewertung vorzunehmen ist.

Der eigentliche, zur Ausführung kommende „operative Sanierungsplan“ enthält vorerst eine Auflistung an Maßnahmen. Welche Maßnahmen Priorität besitzen, wird durch die dringendsten Schäden bestimmt. So wird eine Rangfolge auszuführender Sanierungsmaßnahmen festgelegt, wobei noch keine konkreten Sanierungsverfahren angegeben sind. Diese müssen abschließend für jede schadhafte Haltung überprüft und festgeschrieben werden. Am Ende einer Sanierungsplanung steht also die Wahl des bestgeeigneten Sanierungsverfahrens für eine sanierungsbedürftige Haltung mit Festlegung des Zeitpunktes der Ausführung. Die Zeitpunkte zur Durchführung von Sanierungs-

maßnahmen, die zunächst im Zuge der Zustandserfassung und -beurteilung nach Dringlichkeit bestimmt wurden, müssen abschließend nach Wahl der bestgeeigneten Sanierungsverfahren nochmal geprüft und überarbeitet werden.

Ein wesentliches Optimierungspotential wird innerhalb der Sanierungsplanung bei der Wahl, Festsetzung und Durchführung der Strategieansätze auf Netzebene ausgemacht. Im Zuge ganzheitlicher Lösungsansätze werden Aspekte der Grundstrategien nach DWA-M 143-14 lediglich vereinzelt zur Berücksichtigung vorgeschlagen, ein systematischer Ansatz zur praktischen Anwendung im Rahmen der Sanierungsplanung fehlt gänzlich.

Im ersten Schritt wurden hierzu im Rahmen dieser Arbeit jeweils Entscheidungskriterien zur Festlegung einer Grundstrategie formuliert und der entsprechenden Strategie zugewiesen. Daran anknüpfend wurde ein Ablauf-/ Flussdiagramm für einen konsistenten Entscheidungsprozess zur Wahl einzelner Grundstrategien entwickelt. Dieser soll Kommunen als Hilfestellung dienen, einen auf das individuelle Entwässerungsnetz abgestimmten, geeigneten Strategiemix als Basis für die Sanierungsplanung vorzugeben. Im Ergebnis wird auf Netzebene eine „multikriterielle Sanierungsstrategie“ festgelegt.

Um die Verknüpfung zwischen Netzebene und Haltungsebene zu vollziehen, um also die gewählte multikriterielle Sanierungsstrategie in die eigentliche „operative Sanierungsplanung“ einzubinden, werden im Anschluss die Abhängigkeiten der Entscheidungskriterien auf Netzebene hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Haltungsebene (Wahl des bestgeeigneten Sanierungsverfahrens) analysiert, bestimmt und bewertet. Hierbei werden auch die Abhängigkeiten und die Verträglichkeit aller Entscheidungskriterien der Netzebene untereinander untersucht.

Weiteres Optimierungspotential wurde auf Haltungsebene bei der Festlegung des bestgeeigneten Sanierungsverfahrens in Bezug auf jede einzelne sanierungsbedürftige Haltung erkannt. Die meisten Entscheidungshilfen führen diesbezüglich nicht zu dem Ergebnis, ein konkretes Sanierungsverfahren für eine schadhafte Haltung festzulegen. Nur ganz wenige Entscheidungshilfen benennen zwar im Ergebnis ein geeignetes Sanierungsverfahren. Allerdings muss die jeweils eingesetzte Methodik (Bewertungsverfahren) kritisch hinterfragt werden.

Die vorhandenen Entscheidungshilfen betrachten darüber hinaus lediglich die auf Haltungsebene im Fokus stehende technisch optimale Lösung bei der Wahl des bestgeeigneten Sanierungsverfahrens. Die Bedeutung einer schadhafte Haltung im Zusammenhang des gesamten Entwässerungsnetzes und seines Sanierungsbedarfs wird nicht berücksichtigt.

Einem Entwässerungsbetrieb muss eine vollständige, transparente Entscheidungshilfe zugrunde liegen, um eine wirtschaftliche und nachhaltige Sanierungsplanung durchführen zu können. Eine solche Entscheidungshilfe wurde im Rahmen dieser Arbeit konzipiert. Zuerst wurde für die im Bereich der unterirdischen Infrastruktur gängigen multikriteriellen Entscheidungsmodelle eine vergleichende Bewertung mit Vor- und Nachteilen vorgenommen.

Es lässt sich feststellen, dass es kein universelles Bewertungsverfahren gibt, welches in allen wesentlichen Punkten die anderen Verfahren dominiert; jedes Verfahren weist mehr oder weniger Schwächen und Stärken auf. Aufgrund starker Vorteile in den Bereichen Handhabbarkeit, Arbeits-

aufwand, Nachvollziehbarkeit und nachträgliche Erweiterungsmöglichkeiten fällt letztendlich die Entscheidung zu Gunsten der Nutzwertanalyse. Schwächen des Modells werden durch Verwendung einer schärferen Gewichtung der Kriterien im Bewertungsschema beseitigt. Im Ergebnis resultiert eine (modifizierte) Modellstruktur, die die verschiedenen Elemente im multikriteriellen Zielsystem der Sanierungsplanung widerspiegelt und sich für das Entscheidungsproblem bei kommunalen Entwässerungsnetzen zur „multikriteriellen Verfahrenswahl“ am besten eignet.

Für die systematische Verknüpfung der strategischen Ansätze auf Netzebene mit den in erster Linie technischen Elementen auf Haltungsebene im Gesamtkontext von Randbedingungen und Anforderungen eines Entwässerungsnetzes sowie Sanierungszielen und Strategieansätzen einer Kommune wird in dieser Arbeit der Begriff der „strategischen Sanierungsplanung“ neu eingeführt, die jede Kommune für sich zu entwickeln hat. Da jedes Entwässerungsnetz, wie beschrieben, unterschiedliche Randbedingungen aufweist, kann jede Kommune ihre eigenen Akzente bei der Priorisierung einzelner Entscheidungskriterien setzen. Darin kommen auch die individuellen Sanierungsziele der Kommunen zum Ausdruck.

Somit kann zusammenfassend festgestellt werden, dass der hier vorgestellte Ansatz der „strategischen Sanierungsplanung“ für die Kommunen eine systematische Entscheidungshilfe bietet, mit deren Hilfe sie ihre individuelle Sanierungsstrategie festlegen und eine für das jeweilige Entwässerungsnetz optimierte Sanierungsplanung konzipieren können, die aktuellen wie auch zukünftigen Anforderungen gerecht wird.





## 9. Ausblick

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Optimierung in der Sanierungsplanung bezieht sich auf das öffentliche Entwässerungssystem. Gerade bei Betrachtung der Fremdwasserproblematik ist eine Betrachtung des gesamten Entwässerungsnetzes (öffentlich und privat) als technische Funktionseinheit, die vom Gebäude auf dem Grundstück bis zum Auslauf der öffentlichen Kläranlage reicht, erforderlich. Durch die Zuständigkeit der privaten Grundstückseigentümer bei Anschlussleitungen und der Eigen- und Regiebetriebe der Kommunen für die öffentlichen Entwässerungsnetze ist allerdings der zur optimalen Lösung des Fremdwasserproblems erforderliche Zugriff auf das gesamte Entwässerungsnetz nicht gegeben. Durch die Trennung der rechtlich begründeten Zuständigkeiten und damit einhergehenden Pflichten für die Sanierung der privaten und öffentlichen Leitungen wird diese technische Systemeinheit „aufgelöst“.

Um zukünftig gewährleisten zu können, dass die weiterhin notwendigen Investitionen zumindest für einen Substanzwerterhalt und nach Möglichkeit zu einer dauerhaften Verbesserung der gesamten Entwässerungsnetze führen, ist es zwingend erforderlich, die Entwässerungsnetze als eine ganzheitliche Funktionseinheit zu betrachten, da nur so die Voraussetzung für eine nachhaltige Bewirtschaftung und Nutzung des Systems geschaffen wird. Die Vorgehensweise und Ergebnisse dieser Arbeit müssten auf die private Grundstücksentwässerung ausgeweitet und die Zuständigkeit zur Sanierung der Entwässerungsnetze im Gesamtsystem (öffentlich und privat) den Kommunen übertragen werden. Somit würde sich die in dieser Arbeit entwickelte strategische Sanierungsplanung auf das Gesamtsystem beziehen. Die Lösung und Beseitigung z.B. eines Fremdwasserproblems könnte systematisch und nachhaltig angegangen werden.

Als Grundlage der strategischen Sanierungsplanung zur Festlegung einer multikriteriellen Sanierungsstrategie kann vereinfacht eine „Basisvariante“ verwendet werden. Diese dient im Zuge der Beratung einer Kommune als „Hilfsmittel“ zur Festlegung eines Strategiemix. In Rücksprache mit der Kommune werden hierbei die individuellen Sanierungsziele und Randbedingungen des Systems abgefragt. Dadurch wird die Basisvariante für die individuellen Belange der Kommune modifiziert und ein Strategiemix als Element der strategischen Sanierungsplanung festgelegt. Für die Praxisanwendung wäre zur Verifizierung der in dieser Arbeit festgelegten Basisvariante die Durchführung einer empirischen Untersuchung auf Grundlage einer Befragung zu angewandten Strategieansätzen der Entwässerungsbetriebe von Großstädten hilfreich. Hierzu kann ein Fragenkatalog dienen, der die Strategieansätze und Überlegungen der Entwässerungsbetriebe systematisch abfragt.

In der Praxis sind insbesondere kleinere Kommunen zwar in der Lage Sanierungsziele zu formulieren, allerdings fehlt in der Regel das Know-how bzw. das Personal, wie diese in einer systematischen Sanierungsplanung abgebildet und umgesetzt werden können. Zur Festlegung eines ihrem Bedarf entsprechenden individuellen Strategiemix wäre es hilfreich, einen „Leitfaden“ zu entwickeln, der eine Anleitung zur strategischen Sanierungsplanung enthält. Neben grundlegenden Informationen zu aktuellen Sanierungsverfahren, entsprechenden Kosten und Grundstrategien könnte der Leitfaden auch eine systematische Anleitung über Festlegung einer multikriteriellen Sanierungsstrategie, deren Auswirkungen und Korrelationen auf geeignete Sanierungsverfahren und die

eigentliche operative Sanierungsplanung zur Wahl des bestgeeigneten Sanierungsverfahrens enthalten. Als wesentliches zusätzliches Element sollte der Leitfaden auch Informationen übergeordneter Strategieansätze in Bezug auf die Umfeldbedingungen, wie demografischer Wandel, Klimawandel und Migrationsbewegungen enthalten. In zukünftige strategische Überlegungen zur Sanierungsplanung wird die Umorientierung von Netzen sicherlich eine sehr bedeutsame Position einnehmen.

Zur Entscheidungsfindung geeigneter Sanierungsverfahren auf Haltungsebene steht eine Vielzahl von Entscheidungskriterien zur Verfügung. Gelingt es nicht, die zahlreichen Kriterien durch vorhandene K.O.-Kriterien zu reduzieren, so ist die Anwendung des multikriteriellen Bewertungsverfahrens sehr zeitaufwendig und kann leicht unübersichtlich werden. Zur schnelleren und effektiveren Wahl geeigneter Sanierungsverfahren sollte geprüft werden, die zahlreichen Kriterien im Entscheidungsprozess zu clustern. Unter Anwendung einer ABC-Analyse bezüglich Kosten und Priorisierung der Kriterien (immer abhängig vom Strategieansatz) könnte sich die Sanierungsplanung bei der Wahl des bestgeeigneten Sanierungsverfahrens auf wenige Kriterien beschränken. Ähnliche Ansätze existieren bereits in der Instandhaltung von Bauwerken im Hochbau.

In dieser Arbeit wird zur Wahl geeigneter Sanierungsverfahren im Rahmen der strategischen Sanierungsplanung die modifizierte Nutzwertanalyse anhand eines frei gewählten Handlungsbeispiels angewendet. Hierbei werden die Vorteile der Nutzwertanalyse in der übersichtlichen Strukturierung, der einfachen Handhabung und in ihrer Nachvollziehbarkeit deutlich. Das gegebene Beispiel liefert alle notwendigen methodischen Elemente und ist in Excel bereits strukturiert vorbereitet. Dies kann als Grundlage für ein zur Unterstützung der strategischen Sanierungsentscheidung zu entwickelndes Software-Tool dienen.

Eine Budgetierung der Sanierungskosten knüpft unmittelbar an eine strategische Sanierungsplanung an. Der angewandten Methodik und Vorgehensweise in dieser Arbeit zur Optimierung der Sanierungsplanung könnten im Zuge dessen Kosten der Sanierungsverfahren in € pro lfm hinzugefügt werden. Darauf aufbauend kann eine Systematik zur Budgetierung der Sanierungsplanung entwickelt werden, d.h. eine Vorgehensweise zur Ermittlung des Substanzwertes, den das gesamte Entwässerungsnetz einer Kommune besitzt. Auch hierfür gibt es methodische Ansätze im Hochbau, die auf die Entwässerungsnetze, allgemein auch auf die unterirdische Infrastruktur angewendet werden können (z.B. Methodik zum Instandhaltungsmanagement der TU Kaiserslautern). Dies kann weiterführend die Möglichkeit zur Verstetigung bereitgestellter Finanzmittel und Stabilisierung der Abwassergebühren schaffen.

## **Literaturverzeichnis**

- Aldinger F. (1999)** „Entscheidungstheorie“, Skript zur Entscheidungstheorie WS 99/00, Institut für landwirtschaftliche Betriebslehre, Uni Hohenheim, <https://www.uni-hohenheim.de/i410a/skriptal/etheorie.html>, abgerufen am 10.01.2012.
- ATV-DVWK-M 143-1 (2004)** „Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 1: Grundlagen“; Hennef, August 2004
- Bechmann, A. (1978)** „Nutzwertanalyse, Bewertungstheorie und Planung“; Haupt Verlag, Bern und Stuttgart, 1978
- Berger, C. / Falk, C. (2011)** „Zustand der Kanalisation in Deutschland“; Ergebnisse der DWA-Umfrage 2009, Korrespondenz Abwasser 2011 (58) Nr. 1, S. 24-39
- Berger, C. / Lohaus, J. (2005)** „Zustand der Kanalisation in Deutschland“; Ergebnisse der DWA-Umfrage 2004, Korrespondenz Abwasser 2005 (52) Nr. 5, S. 528-539
- BMVBS (2012)** [www.arbeitshilfen-abwasser.de](http://www.arbeitshilfen-abwasser.de), Internetportal des Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung und des Bundesministerium der Verteidigung; abgerufen im Juni 2012 und September 2012
- Bölke, K.-P. (2009)** „Kanalinspektion – Zustände erkennen und dokumentieren“, 3. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2009 (VDI-Buch)
- Coburg, R. C. (2005)** „Technische und organisatorische Maßnahmen zur Steigerung der Effizienz der Instandhaltung kommunaler Kanalnetze“; *Dissertation* am Institut für Siedlungswasserwirtschaft, RWTH Aachen, 2005
- DIN 4045 (2003)** „Abwassertechnik – Grundbegriffe“; August 2003
- DIN 4263 (2011)** „Kennzahlen von Abwasserkanälen und -leitungen für die hydraulische Berechnung im Wasserwesen; Juni 2011
- DIN 31051 (2012)** „Grundlagen der Instandhaltung“; September 2012
- DIN EN 752 (2008)** „Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden“; April 2008

- DIN EN 1085 (2007)** „Abwasserbehandlung – Wörterbuch; Dreisprachige Fassung EN 1085:2007“; Mai 2007
- DIN EN 1610 (1997)** „Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen“; Oktober 1997
- DIN EN 13306 (2010)** „Instandhaltung – Begriffe der Instandhaltung; Dreisprachige Fassung EN 13306:20120 “; Dezember 2010
- DIN EN 13508-2 (2011)** „Untersuchung und Beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 2: Kodiersystem für die optische Inspektion“; August 2011
- DIN EN 15885 (2011)** „Klassifizierung und Eigenschaften von Techniken für die Renovierung und Reparatur von Abwasserkanälen und -leitungen“; März 2011
- Dörsam, P. (2007)** „Grundlagen der Entscheidungstheorie“; 5. überarbeitete Auflage, PD-Verlag, Heidenau, 2007
- DWA-M 143-14 (2005)** „Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 14: Sanierungsstrategien“; Hennef, November 2005
- DWA-M 149-3 (2007)** „Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 3: Zustandsklassifizierung und -bewertung“; Hennef, November 2007
- DWA-Kommentar zum DWA-M 143-14 (2007)** „Sanierungsstrategien“; Hennef, Dezember 2007
- E DIN EN 14654-2 (2011)** „Management und Überwachung von betrieblichen Maßnahmen in Abwasserleitungen und -kanälen – Teil 2: Sanierung“; *Entwurf*, Januar 2011
- Eisenführ, F. / Weber, M. / Langer (2010)** „Rationales Entscheiden“; 5. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 2010
- Europäische Union (2012)** „Die Rechtsordnung der Europäischen Union“; <http://eur-lex.europa.eu/>, Internetportal der Europäischen Union; abgerufen im Oktober 2012

- Falk, C. / Schmidt, O. (2009)** „Kanalsanierung in Zeiten von Klimawandel, Wirtschaftskrise und erhöhten Anforderungen an die Grundstücksentwässerung“; *Vortrag*, 8. Sanierungstage 2009 der DWA, Dortmund, 2009
- Fastrich A. (2011)** „Entwicklung, Bewertung und Optimierung von Lebenszyklusorientierten Erhaltungsstrategien im Straßenunterhalt“; *Dissertation* am Institut für Bau und Infrastrukturmanagement (IBI), ETH Zürich, Eigenverlag des IBI an der ETH Zürich, 2011
- FBS (2010)** „Technisches Handbuch“; FBS Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre e. V., Bonn, 2010
- Federsel, D. (2005)** „Betriebswirtschaftliche Einflüsse bei Kanalnetzsanierung und Sanierungsplanung“; *Diplomarbeit* im Fachbereich Ingenieurwissenschaft – Bauingenieurwesen, Universität Leipzig, Grind Verlag, München, 2005
- Gabler (2012)** „Gabler Wirtschaftslexikon“; <http://wirtschaftslexikon.gabler.de>, Gabler Verlag, Wiesbaden, abgerufen am 09.07.2012
- Geldermann, J. (2008)** „Multikriterielle Entscheidungsunterstützung für Automatisierungsprojekte“; Fraunhofer IPA Workshop, Stuttgart, 2008
- Gondring, H. / Wagner, T. (2012)** „Facility Management – Handbuch für Studium und Praxis“; Vahlen-Verlag, München, 2. Auflage, 2012
- Grünig / Kühn (2009)** „Entscheidungsverfahren für komplexe Probleme: Ein heuristischer Ansatz“; 3. Überarb. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 2009
- Günthert, F. W. / Reicherter, E. (2001)** „Investitionskosten der Abwasserentsorgung“; Oldenbourg Industrieverlag GmbH, München, 2001
- GSTT (1997)** „Leitfaden zur Auswahl von Bauverfahren für den Bau und die Instandhaltung erdverlegter Leitungen unter umweltrelevanten und ökonomischen Gesichtspunkten“; German Society for Trenchless Technology e.V., Hamburg, 1997
- GSTT-Information Nr. 14 (2000)** „Kriterienkatalog zur Auswahl der Bauweisen für die Sanierung von Entwässerungsleitungen (Freispiegelleitungen)“; German Society for Trenchless Technology e.V., Hamburg, 2000

- GSTT-Information Nr. 25-1 (2011)** „Eine softwaregestützte Analyse für ganzheitliche Bewertungen von offenen und geschlossenen Bauweisen unterirdischer Infrastrukturprojekte – Teil 1: Theoretische Grundlagen multikriterieller Bewertungsverfahren“; German Society for Trenchless Technology e.V., Berlin 2011
- Gurkasch, D. (2007)** „Entscheidungsfindung in Unternehmen – Der Analytische Hierarchieprozess als Entscheidungsunterstützungsverfahren bei einem Standortwahlproblem“; *Diplomarbeit* im Studiengang Transport- und Logistikmanagement, Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel, Grind Verlag, München, 2008
- Hagenloech, T. (2009)** „Grundzüge der Entscheidungslehre“; 1. Auflage, Books on Demand GmbH, Norderstedt, 2009
- Harth, M. (2006)** „Multikriterielle Bewertungsverfahren als Beitrag zur Entscheidungsfindung in der Landnutzungsplanung“; *Dissertation* am Institut für Agrarökonomie und Agrarraumgestaltung, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, VDM Verlag Dr. Müller, Saarbrücken, 2008
- Hauff, V. (1987)** „Unsere gemeinsame Zukunft – der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung“; Eggenkamp Verlag, Greven 1987
- Hausmann, R. (1995)** „Optimierung des Betriebes von Entwässerungsnetzen“; *Dissertation* am Institut für Siedlungswasserwirtschaft, RWTH Aachen, 1995
- Herrig, M. (2010)** „Instandhaltung als Methode zur Stabilisierung der Gebühren von kommunalen Entwässerungsanlagen“, *Diplomarbeit* am FG Baubetrieb und Bauwirtschaft, TU Kaiserslautern, 2010 (unveröffentlicht)
- Huff, T. (2009)** „Fortentwicklung von Bestandsimmobilien – Ein Entscheidungsmodell zur Findung optimaler Lösungen“; *Dissertation* am Institut für Baubetriebslehre, Universität Stuttgart, 2009
- Hüftle, M. (2006a)** <http://134.169.42.157/Methoden/BewVerfa/BewVerfa.pdf>; „Bewertungsverfahren“; abgerufen am 10.08.2011
- Hüftle, M. (2006b)** <http://134.169.42.157/Methoden/GruppEnt/GruppEnt.pdf>; „Gruppenentscheidung und Spieltheorie“; abgerufen am 15.07.2012

- Hüftle, M. (2006c)** <http://134.169.42.157/Methoden/MehrZOpt/MehrZOpt.pdf>; „Methoden der Optimierung bei mehrfacher Zielsetzung“; abgerufen am 19.11.2011
- IKT (2010)** Forschungsprojekt „Wurzeleinwuchs in Abwasserleitungen und Kanäle“; *Endbericht*, Institut für unterirdische Infrastruktur gGmbH, Gelsenkirchen, 2007
- Kaufmann Alves, I. (2012)** „Strategieentwicklung zur Integration ressourcenorientierter Abwasserbewirtschaftung durch mathematische Optimierung“; *Dissertation* am FG Siedlungswasserwirtschaft, TU Kaiserslautern, 2012
- Klingenberg, J. (2007)** „Ein Beitrag zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden“; *Dissertation* am Institut für Baubetrieb, TU Darmstadt, 2007
- Klobasa, C. (2009)** „Analyse und Modellierung von Transformationsprozessen in der kommunalen Wasserwirtschaft in Deutschland“; *Dissertation* an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Karlsruhe (TH), 2009
- Kolmogoroff, A. (1933)** „Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung“; 2. Band, Heft 3, Springer-Verlag, Berlin, 1933
- Körkemeyer, K. (2011)** „Ganzheitliche Betrachtung von Entwässerungssystemen“; Vortrag, RoKa-Tech XI. Internationale Fachmesse für Rohr-, Kanal- und Industrieservice, Kassel, 24.03.2011
- Körkemeyer, K. et al. (2009)** „Gebührenstabilität durch Substanz- und Werterhalt“; rathausconsult, Ausgabe Dezember 2009
- Körkemeyer, K.; Hochstrate, K.; Trujillo Alvarez, R. (2004)** „Entwicklung und Erprobung eines Verfahrens zur Zustandsprognose und Ermittlung der Zustandsentwicklung für Abwasserkanäle und -leitungen“; *Abschlussbericht*, im Auftrag der Landeshauptstadt Stuttgart, gefördert durch das BMBF, Bochum, 2004
- Koziol, M. (2007)** „Demografische Entwicklung in Deutschland und ihre Konsequenzen für die Wasserverteilungsnetze und Abwasserkanalisationen“; Forum der Forschung 20/2007: Seite 25-28; Brandenburgische Technische Universität Cottbus, 2007
- Laux, H. (2007)** „Entscheidungstheorie“; 7. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 2007

- LAWA (2005)** „Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien)“; LAWa – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser; 7. Auflage, Kulturbuchverlag Berlin GmbH, Berlin, 2005
- Lehne, J.; Scholz, K. (2005)** „Arbeitshilfen Abwasser – Planung, Bau und Betrieb abwassertechnischer Anlagen in Liegenschaften des Bundes“; Korrespondenz Abwasser 2005 (52) Nr. 5, S. 540-546
- Leitl, S. (2012)** „Entscheidungstheorie – multikriterielle Bewertungsverfahren in der Sanierungsplanung von kommunalen Entwässerungsnetzen“; *Diplomarbeit* am FG Baubetrieb und Bauwirtschaft, TU Kaiserslautern, 2012 (unveröffentlicht)
- Martens, K. (2003)** „Betriebliche Entscheidungslehre“; Vorlesungsmitschrift WS 2003/2004, VWA Köln, abgerufen am 25.01.2012 (unveröffentlicht)
- Milojevic, N. et al. (2005a)** Verbundprojekt KANSAS – „Entwicklung einer ganzheitlichen Kanalsanierungsstrategie für Entwässerungsnetze Deutschlands“; *Abschlussbericht*, Bundesministerium für Bildung und Forschung, Dr.-Ing. Pecher und Partner, 2005
- Milojevic, N. et al. (2005b)** Verbundprojekt KANSAS – „Entwicklung einer ganzheitlichen Kanalsanierungsstrategie für Entwässerungsnetze Deutschlands“; *Leitfaden*, Bundesministerium für Bildung und Forschung, Dr.-Ing. Pecher und Partner, 2005
- MURL-NRW (1999)** „Praxisorientierter Leitfaden für die Sanierung von Kanalisationen im ländlichen Raum“; Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, 1999
- MUV-BW (2000)** „Leitfaden für die kostenoptimierende Instandhaltung von Kanalnetzen“; Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Stuttgart, 2000
- Nagel, U. (2007)** „Facility Management – Ein Praxishandbuch für Architekten und Bauingenieure“; Birkhäuser Verlag, Basel, 2007
- Neddermann, R. (2005)** „Kostenermittlung im Altbau“; 3. Auflage, Werner Verlag, München, 2005



- Nitzsch, R. (1992)** „Entscheidung bei Zielkonflikten. Ein PC-gestütztes Verfahren“; Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler, Wiesbaden, 1992
- Ochs, C. (2011)** „Auswahlkriterien auf Netz- und Haltungsebene in der Sanierungsplanung von Entwässerungsnetzen“; *Beitrag* im Kongressband, TAS-Kongress 2011 – Bauen-Bewahren-Bewerten, Kaiserslautern, 2011
- Ochs, C. (2008)** „Instandhaltungsstrategien und deren zugehörige Instandhaltungskosten bei Bürogebäuden – Versuch einer Qualifizierung des Einflusses auf den Marktwert“; *Diplomarbeit* an der Technischen Akademie Südwest, St. Ingbert, 2008 (unveröffentlicht)
- OLEV (2012)** Online Verwaltungslexikon, [www.olev.de](http://www.olev.de); Stand der Seite: 21.03.2012, abgerufen am 28.06.2012
- Pinnekamp, J. / Boller, F.-W. (2005)** „Untersuchung der Nutzungsdauer von Abwasserleitungen im öffentlichen Bereich“; *Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben*; im Auftrag des Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Aachen, 2005
- Plenker, T. (2003)** „Multikriterielles Auswahlverfahren zur Bestimmung der bestgeeigneten Sanierungstechnik für individuelle Abwasserkanäle“; *Dissertation* am Lehrstuhl Stadtbauwesen, TU Dresden, 2003
- Rohr, T. (2004)** „Einsatz eines mehrkriteriellen Entscheidungsverfahrens im Naturschutzmanagement“, *Dissertation* an der Agrarwissenschaftlichen Fakultät, Christian-Albrecht-Universität Kiel, 2004
- Rommelfanger, H. / Eickemeier, S. (2002)** „Entscheidungstheorie - Klassische Konzepte und Fuzzy-Erweiterungen“; Springer-Verlag, Berlin, 2001
- Rothhaar, F. (2011)** „Kriterien zur Wahl geeigneter Sanierungsverfahren kommunaler Entwässerungsnetze für eine optimierte Sanierungsplanung“; *Diplomarbeit* am FG Baubetrieb und Bauwirtschaft, TU Kaiserslautern, 2011 (unveröffentlicht)
- Rubach, G. et al. (2001)** „Sanierungsstrategien für öffentliche Kanäle“, Bericht der ATV-DVWK-Ad-hoc-Arbeitsgruppe „Sanierungsstrategien“; Korrespondenz Abwasser 2001 (48) Nr. 3, S. 386-392

- Schmidt, T. (2009)** „Modellierung von Kanalalterungsprozessen auf der Basis von Zustandsdaten“; *Dissertation* am Institut Stadtbauwesen und Straßenbau, TU Dresden, 2009
- Schmitt, T. G. (2012)** „Ganzheitliche Siedlungsentwässerung – Leitbild, Schutzziele und Konzepte“, *Vortrag*, 25. Lindauer Seminar, Lindau, 2012
- Schmitt, T. G. (2011)** „Siedlungswasserwirtschaft II – Siedlungsentwässerung“; *Vorlesungsskript* des FG Siedlungswasserwirtschaft, TU Kaiserslautern, 2011 (unveröffentlicht)
- Schmitt, T. G. et al. (2009)** „Abwasserableitung – Bemessungsgrundlagen, Regenwasserbewirtschaftung, Fremdwasser, Netzsanierung, Grundstücksentwässerung“; Weiterbildendes Studium Wasser und Umwelt, Bauhaus Universität Weimar, 2. Auflage, 2009
- Schulz, C. (2008)** „Kriterien zur Auswahl des geeigneten Kanalsanierungsverfahrens“; *Vortrag* der Hamburger Stadtentwässerung AöR (HSE), 6. TAH-Sanierungstage, Hannover, 2008
- Statistisches Bundesamt (2009)** Fachserie 19 „Umwelt“, Reihe 2.1 „Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung“ 2007; Wiesbaden, 2009
- Stein, D. (1999)** „Instandhaltung von Kanalisationen“; 3. Auflage, Ernst & Sohn, Berlin, 1999
- Stein, D. / Kaufmann, O. (1993)** „Schadensanalyse an Abwasserkanälen aus Beton- und Steinzeugrohren der Bundesrepublik Deutschland-West“; Korrespondenz Abwasser 1993 (40) Nr. 2, S. 168-179
- Strassert, G. (1995)** „Das Abwägungsproblem bei multikriteriellen Entscheidungen – Grundlagen und Lösungsansatz unter besonderer Berücksichtigung der Regionalplanung“; Peter Lang Frankfurt, Frankfurt am Main, 1995
- Thewes, M. / Kamarianakis, S. / Bielecki, R. (2011)** „Bewertung von offenen und geschlossenen Bauweisen – Eine Analyse unter Berücksichtigung multikriterieller Entscheidungsverfahren“; *bi Umwelt*, Nr. 3/11, S. 40-49, 2011
- UBA (2012)** <http://www.umweltbundesamt.de>; Internetportal des Umweltbundesamtes; Thema: „Wasser, Trinkwasser, Gewässerschutz“; Dessau-Roßlau, 2012

- UBA (2010)** „Demografischer Wandel als Herausforderung für die Sicherheit und Entwicklung einer kosten- und ressourceneffizienten Abwasserinfrastruktur“; *Studie* im Auftrag des Umweltbundesamt (Kurzfassung), Dessau-Roßlau, 2010
- Viering / Liebchen / Kochendörfer (2007)** „Managementleistungen im Lebenszyklus von Immobilien“; 1. Auflage, Teubner Verlag, Wiesbaden, 2007
- Wirtschaftslexikon24 (2012)** <http://www.wirtschaftslexikon24.net>; Witherton Jones Publishing Ltd., Stand: 16.04.2012, abgerufen am 22.07.2012
- Wolf, M. (2006)** „Untersuchungen zu Sanierungsstrategien von Abwasserkanalnetzen und deren Auswirkungen auf Wertentwicklung und Abwassergebühren“; *Dissertation* am Institut für Wasserwesen, Universität der Bundeswehr München, 2006
- Zangemeister, C. (1976)** „Nutzwertanalyse in der Systemtechnik – Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen“; *Dissertation* an der TU Berlin 1970; 4. Auflage, Wittemann Verlag, München, 1976
- Zech, H. (2009)** „Übersicht der Techniken und Erfahrungen in der Kanalsanierung“; 3R International, Heft 10/2009, S. 562-571
- Zimmermann, U. (1998)** „Einführung in die mathematische Optimierung“; Manuskript zur Vorlesung SoSe 1996; <http://www.ifam.uni-hannover.de/~steinbach/teach/09ss/linopt/>, Institut für Angewandte Mathematik, Uni Hannover, abgerufen am 09.07.2012.



## **Glossar**

<b>Abnutzung:</b>	Abbau des Abnutzungsvorrates, hervorgerufen durch chemische und/oder physikalische Vorgänge [DIN 31051:2012]
<b>Abnutzungsgrenze:</b>	Der vereinbarte oder festgelegte Mindestwert des Abnutzungsvorrates [DIN 31051:2012]
<b>Abnutzungsvorrat:</b>	Vorrat der möglichen Funktionserfüllungen unter festgelegten Bedingungen, der einer Einheit aufgrund der Herstellung, Instandsetzung oder Verbesserung innewohnt [DIN 31051:2012]
<b>Absperrblase:</b>	Ein dehnbarer Hohlkörper, der in eine Leitung eingebracht und mit Luftdruck aufgeblasen wird. So wird ein weiterer Durchfluss durch die Leitung verhindert.
<b>Abwasser:</b>	Wasser, bestehend aus jeglicher Kombination von abgeleitetem Wasser aus Haushalten, Industrie- und Gewerbebetrieben, Oberflächenabfluss und unbeabsichtigter Fremdwasserzufluss [DIN EN 752:2008]
<b>Abwasserkanal:</b>	Meist erdverlegte Rohrleitung oder andere Vorrichtung zur Ableitung von Schmutzwasser und/oder Regenwasser aus mehreren Quellen.
<b>Abwasserleitung:</b>	Meist erdverlegtes Rohr zur Ableitung von Schmutzwasser und/oder Regenwasser von der Anfallstelle zum Abwasserkanal.
<b>Anschlusskanal:</b>	Kanal zwischen dem öffentlichen Abwasserkanal und der Grundstücksgrenze bzw. der ersten Reinigungsöffnung (z. B. Übergabeschacht) auf dem Grundstück.
<b>Ausfall:</b>	Beendigung der Fähigkeit einer Einheit, eine geforderte Funktion zu erfüllen. [DIN EN 13306:2010]
<b>Betriebssicherheit:</b>	Aufrechterhaltung des Durchflusses und Einhaltung der Sicherheitsbestimmungen für das Betriebspersonal.
<b>Beurteilungsmodell:</b>	Vorgehensschema zur Erzeugung einer Sanierungsbedarfsliste auf Grundlage der Daten der baulichen/betrieblichen Zustandsuntersuchung und etwaiger Randbedingungen.
<b>(Betrachtungs-)Einheit:</b>	Teil, Bauelement, Gerät, Teilsystem, Funktionseinheit, Betriebsmittel oder System, das/die für sich allein beschrieben und betrachtet werden kann. [DIN 31051:2012]

<b>Erneuerung:</b>	Herstellung neuer Abwasserleitungen und -kanäle in der bisherigen oder einer anderen Linienführung, wobei die neuen Anlagen die Funktion der ursprünglichen Abwasserleitungen und -kanäle einbeziehen [DIN EN 752:2008]
<b>Exfiltration:</b>	Versickerung aus einem Entwässerungssystem in den Untergrund [DIN EN 752:2008]
<b>Fremdwasser:</b>	Unerwünschter Abfluss in einem Entwässerungssystem [DIN EN 75:2008]
<b>Funktionserfüllung:</b>	Erfüllen der bei der Herstellung einer Einheit definierten Anforderungen [DIN 31051:2012]
<b>Funktionsfähigkeit:</b>	Fähigkeit einer Einheit zur Funktionserfüllung aufgrund ihres Zustandes [DIN 31051:2012]
<b>Grundstücks- entwässerung:</b>	System von Rohren und Zusatzbauten zur Ableitung von Schmutzwasser und/oder Regenwasser zu einer Senkgrube, Kanalisation oder sonstigen Entsorgungseinrichtung.
<b>Haltung:</b>	Durchgehender Abschnitt einer Abwasserleitung oder eines Abwasserkanals zwischen zwei angrenzenden Knoten [DIN EN 13508-2:2011]
<b>Härtung:</b>	Der Prozess der Harzpolymerisation oder -polyaddition der durch Wärme oder Licht ausgelöst oder beschleunigt werden kann. [DWA M 143-3:2005]
<b>Hochdruckspülverfahren:</b>	Bei dem Hochdruckspülverfahren (HD-Verfahren) wird Spülwasser mit hohem Druck in einen Schlauch gepumpt, an dessen Ende sich ein Spülkopf befindet. Dieser Spülkopf enthält Düseneinsätze, die so gerichtet sind, dass durch die mit hoher Geschwindigkeit austretenden Wasserstrahlen zum einen die Reinigung der Rohrwandung erfolgt und zum anderen eine Reaktionskraft entsteht, die Spülkopf und Schlauch vom Startschacht aus – entgegen dem Haltungsgefälle – zum Zielschacht befördert. Von dort wird der Spülschlauch in Fließrichtung langsam zurückgezogen. Die austretenden Wasserstrahlen erhöhen dabei die Fließgeschwindigkeit des Abwassers, lösen Ablagerungen, wirbeln diese auf und transportieren sie zum Startschacht. Dort werden die Reinigungsrückstände abgesaugt.

<b>Imprägnierter Schlauch:</b>	Ein Schlauch aus Trägermaterial und/oder Verstärkungsmaterial, der mit Folien beschichtet sein kann, wird mit Reaktionsharz imprägniert und dann über einen Schlauch mit Wasser- oder Luftdruck in den Kanal gestülpt oder mit Hilfe einer Winde in den Kanal gezogen.
<b>Infiltration</b> „in den Boden“:	Bewegung von Niederschlagswasser oder behandeltem Ablauf in den Boden
„in ein Entwässerungssystem“:	Ungewollter Volumenstrom durch Eintritt von Grundwasser in ein Entwässerungssystem [DIN EN 752:2008]
<b>Injektion:</b>	Als Injektionsdichtung bezeichnet man im Bauwesen das Einpressen von flüssigen Kunststoffen, Zement oder anderen Stoffen in Hohlräume und Risse von Bauteilen, des Bodens oder des Felsens zur Abdichtung gegen drückendes Wasser oder Stabilisation des Untergrundes. Wird auch als Verpressen bezeichnet.
<b>Inneninspektion:</b>	Alle Maßnahmen zur Feststellung des Ist-Zustandes des Entwässerungssystems von Innen durch qualitative und quantitative Verfahren.
<b>Inspektion:</b>	Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Istzustandes einer Einheit einschließlich der Bestimmung der Ursachen der Abnutzung und dem Ableiten der notwendigen Konsequenzen für eine künftige Nutzung. [DIN 31051:2012]
<b>Instandhaltung:</b>	Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus einer Einheit, die dem Erhalt oder der Wiederherstellung ihres funktionsfähigen Zustands dient, sodass sie die geforderte Funktion erfüllen kann. [DIN 31051:2012]
<b>Instandsetzung:</b>	Physische Maßnahme, die ausgeführt wird, um die Funktion einer fehlerhaften Einheit wiederherzustellen. [DIN 31051:2012]
<b>Integrales Kanalmanagement</b>	Koordiniertes Management von Planung, Bemessung, Bau, Sanierung, Betrieb und Unterhalt aller Systeme aus Abwasserleitungen und -kanälen in einem Einzugsgebiet unter Berücksichtigung ihrer sämtlichen Leistungsaspekte [DIN EN 752:2008]
<b>Kanal:</b>	Siehe → Abwasserkanal

<b>Kanalisation:</b>	Netz von Rohrleitungen und zugehörigen Bauwerken, das Abwasser von Abwasserleitungen zu Kläranlagen oder an anderen Entsorgungsstellen ableitet [DIN EN 752:2008]
<b>Kanalnetz, Entwässerungsnetz:</b>	Gesamtheit der Kanäle, Abwasserdruckleitungen und zugehörigen Bauwerke in einem Entwässerungsgebiet.
<b>Lebensdauer,</b> technisch:	Lebenserwartung, in der eine Betrachtungseinheit unter Einbeziehung notwendiger Instandhaltungsmaßnahmen und der vorgesehen Nutzung den Funktionen und dem bestimmungsgemäßen Gebrauch technisch genügen kann
wirtschaftlich:	Zeitpunkt, bis wann eine Betrachtungseinheit spätestens instand zu setzen oder zu verbessern ist, um die Wirtschaftlichkeit der Betrachtungseinheit und der gesamten Immobilie zu erhalten
<b>Lebenszyklus:</b>	Anzahl von Phasen, die eine Einheit durchläuft, beginnend mit der Konzeption und endend mit der Entsorgung. [DIN 31051:2012]
<b>Liner / Schlauchliner:</b>	Der fertig eingebaute und gehärtete Schlauch ist der Liner/Schlauchliner. Es entsteht ein muffenloser Liner, der am bestehenden Kanal formschlüssig anliegen muss und mit diesem verbunden sein kann.
<b>Manschette:</b>	Eine Manschette ist in der Regel eine Ummantelung zum Schutz, zur Stabilisierung, zur Abtrennung oder Vermessung eines Gegenstands. Sie kann auch als Verbindung zwischen zwei Systemen zur Abdichtung dienen.
<b>Nennweite:</b>	Kenngroße, die als Merkmal zueinander passender Teile, z. B. Rohre, Rohrverbindungen und Formstücke benutzt wird.
<b>Nutzungsdauer:</b>	Für Planungszwecke erwartete Lebensdauer eines Anlagenteils [DIN EN 752:2008]
<b>Preliner:</b>	Außenfolie, die separat und vor dem harzimprägnierten Liner eingebaut wird.
<b>Qualität:</b>	Grad, in dem einer Betrachtungseinheit innewohnende kennzeichnende Eigenschaften das festgelegte Erfordernis erfüllt



<b>Renovierung:</b>	Maßnahmen zur Verbesserung der aktuellen Funktionsfähigkeit von Abwasserleitungen und –kanälen unter vollständiger oder teilweiser Einbeziehung ihrer ursprünglichen Substanz [DIN EN 752:2008]
<b>Reparatur:</b>	Maßnahmen zur Behebung örtlich begrenzter Schäden [DIN EN 752:2008]
<b>Ringraum:</b>	Spalt zwischen Außenwand von Packer oder Inliner und Kanalinnenwand.
<b>Sanierung (Hochbau):</b>	Leistungen zur Wiederherstellung des Sollzustandes von baulichen und technischen Anlagen, die nicht mehr den technischen, wirtschaftlichen und/oder ökologischen sowie gesetzlichen Anforderungen entsprechen
<b>Sanierung (Tiefbau):</b>	Maßnahmen zur Wiederherstellung oder Verbesserung von vorhandenen Entwässerungssystemen [DIN EN 752:2008]
<b>Strategie:</b>	Planung einer Konzeption zur Erreichung eines Zieles [DWA-M 143 Teil 14]
<b>Vorfluter:</b>	Jedes Gewässer, in das Wasser oder Abwasser eingeleitet wird [DIN EN 752:2008]
<b>Wartung (Hochbau):</b>	Maßnahmen zur Verzögerung des Abbaus des vorhandenen Abnutzungsvorrats. [DIN 31051:2012]
<b>Wartung (Tiefbau):</b>	Maßnahmen, die das Entwässerungssystem in einem Zustand erhalten, der die Betriebsfähigkeit gewährleistet. [ATV-DVWK-M 143 Teil 1:2004]
<b>Wasserhaltung:</b>	Maßnahmen zur Regulierung des Wasserstands in einem Abwasserkanal durch absperren, umleiten oder abpumpen von anfließendem Abwasser. Der nachfolgende Kanalabschnitt wird so frei von neuem Abwasser gehalten.
<b>Zustandsbeurteilung (baulich / betrieblich):</b>	Einstufung der Ergebnisse der Inspektion nach dem Handlungsbedarf aufgrund der gestellten Anforderungen sowie maßgeblicher Einflussfaktoren. Sie besteht aus den Teilschritten Zustandsklassifizierung und Zustandsbewertung.
<b>Zustandsbewertung (baulich / betrieblich):</b>	Zustandsbewertung ist die Verknüpfung der Ergebnisseder Zustandsklassifizierung mit maßgeblichen Einflussfaktoren.

<b>Zustandserfassung:</b>	Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des baulichen/betrieblichen, hydraulischen und umweltrelevanten Ist-Zustandes von Entwässerungssystemen.
<b>Zustandsklassifizierung (baulich / betrieblich):</b>	Zustandsklassifizierung ist die Einstufung der Ergebnisse der Inspektion durch Vergleich mit den gestellten Anforderungen.
<b>Zyklus:</b>	Regelmäßig wiederkehrender Kreislauf von Abläufen

## **Anhang**

### **Enthaltene Tabellen:**

**Tabelle A-01:** Ergebnismatrix bei Sanierungsentscheidungen – Teil 1-3

**Tabelle A-02:** Ergänzende Ergebnismatrix zum Kriterium „Schadensart“ – Teil 1-2

**Tabelle A-03:** Ergänzende Ergebnismatrix zum Kriterium „vorbereitende Maßnahmen“

**Tabelle A-04:** Ergänzende Ergebnismatrix zum Kriterium „Verkehrsbeeinträchtigung“

**Tabelle A-05:** Entscheidungsmatrix des Handlungsbeispiels

**Tabelle A-06:** Entscheidungsmatrix „Schadensart“

**Tabelle A-07:** Entscheidungsmatrix „vorbereitende Maßnahmen“

**Tabelle A-08:** Entscheidungsmatrix „Verkehrsbeeinträchtigung“

**Tabelle A-09:** Berechnungsmatrix der Kriteriengewichte

**Tabelle A-10:** Entscheidungsmatrix mit Kriteriengewichtung

**Tabelle A-11:** Sensitivitätsanalyse

**Tabelle A-12:** Entscheidungsmatrix mit Teil- und Gesamtnutzen (ursprüngliche Rangfolge)

**Tabelle A-13:** Entscheidungsmatrix mit Teil- und Gesamtnutzen (Sensitivitätsanalyse)

**Tabelle A-01:** Ergebnismatrix bei Sanierungsentscheidungen – Teil 1

	Injektionsverf. mit Gel	Injektionsverf. mit Harz	Flutungs- verfahren	Roboterverfahren	Vor Ort härtende Kurzliner	Edelstahlmansch. mit Flächen- elastomeren
Nennweite bzw. Abmessung	100 - 600	150 - 700	100 - 500	200 - 800	100 - 800	150 - 800
Profilart	Kreis, Ei	Kreis	beliebig	Kreis, Ei bedingt	Kreis, Ei bedingt	Kreis, Ei bedingt
Werkstoff	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig (nicht dünnwandig)	beliebig außer PE, PP	beliebig
Schadensart gemäß DIN 13508-2	siehe "ergänzende Ergebnismatrix" (nachfolgend)					
Wiederherst. / Erh. der statischen Tragfähigkeit	nein	ja	ja	ja	nein	ja
Verbesserung der Bettungssituation	nein	ja	ja	nein	nein	nein
hydr. Leistungsfähigkeit (Querschnittsreduzierung)	nein	nein	nein	nein	gering	gering
Wiederherstellung Zulaufanbindung	nicht geeignet	spez. Gerätetechnik	von innen	spez. Gerätetechnik	spez. Gerätetechnik	nicht geeignet
Vorbereitende Maßnahmen für die Sanierung	siehe "ergänzende Ergebnismatrix" (nachfolgend)					
Max. Arbeitsabschnitt [m]	70	140	situationsbez.	70	70	70
<b>Technische Eignung</b>						
Grundwasserabsenkung	nein	nein	ja	ggf.	ggf.	nein
Verkehrsbeeinträchtigung	siehe "ergänzende Ergebnismatrix" (nachfolgend)					
Verträglichkeit für Bäume / Boden / Gewässer	ja	ja	bedingt	ja	ja	ja
Beeinträchtigung durch Lärm / Staub	gering	gering	gering	gering	gering	gering
Erschütterungen	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Wasserrechtliche Genehmigung	(ggf.) in WGG	nein	in WGG	nein	nein	nein
<b>Schutz der Umwelt</b>						
Kosten	sehr niedrig	mittel	niedrig	niedrig / sehr niedrig	niedrig / mittel	mittel / hoch
Nutzungsdauer	5-10 Jahre	25-35 Jahre	5-10 Jahre	20-25 Jahre	10-15 Jahre	20-25 Jahre
Bauzeit	mittel	mittel	mittel	kurz	kurz	kurz
<b>Wirtschaftlichkeit</b>						

**Tabelle A-01:** Ergebnismatrix bei Sanierungsentscheidungen – Teil 2

	Edelstahlmansch. mit Verklebung	Zulaufanb. mit Injektionsverfahren	Zulaufanb. mit Roboterverfahren	Zulaufanb. mit Hutprofil	Partielle Erneuerung	Rohrstrang-Lining	Close-Fit-Lining
Nennweite bzw. Abmessung	150 - 800	200-600 und 100-200	200-800 und 100-250	200-700 und 100-150	beliebig	300-800 und 150-300	100 - 450
Profilart	Kreis, Ei bedingt	Kreis	Kreis, Ei bedingt	Kreis, Ei bedingt	beliebig	Kreis	Kreis
Werkstoff	beliebig außer P E, P P	beliebig	beliebig außer P VC, P E, P P	beliebig (P E verschweißl.)	beliebig	beliebig	beliebig
Schadensart gemäß DIN 13508-2	siehe "ergänzende Ergebnismatrix"						
Wiederherst. / Erh. der statischen Tragfähigkeit	ja	ja	ja	nein	ja	ja	ja
Verbesserung der Bettungssituation	nein	ja	nein	nein	ja	ja	nein
hydr. Leistungsfähigkeit (Querschnittsreduzierung)	gering	gering	nein	gering	nein	groß	nein
Wiederherstellung Zulaufanbindung	nicht geeignet	von innen	von innen	von innen	von außen	von außen	nein
Vorbereitende Maßnahmen für die Sanierung	siehe "ergänzende Ergebnismatrix"						
Max. Arbeitsabschnitt [m]	70	70	70	70	beliebig	700	200
<b>Technische Eignung</b>							
Grundwasserabsenkung	nein	nein	nein	nein	ja	ggf.	nein
Verkehrsbeeinträchtigung	siehe "ergänzende Ergebnismatrix"						
Verträglichkeit für Bäume / Boden / Gewässer	ja	ja	ja	ja	bedingt	ja	ja
Beeinträchtigung durch Lärm / Staub	gering	gering	gering	gering	groß	mittel	gering
Erschütterungen	nein	nein	nein	nein	groß	mittel	nein
Wasserrechtliche Genehmigung	nein	nein	nein	nein	(ggf.) in WGG	nein	nein
<b>Schutz der Umwelt</b>							
Kosten	hoch	hoch	mittel	mittel	mittel / hoch	niedrig	sehr niedrig
Nutzungsdauer	10-15 Jahre	25-35 Jahre	20-25 Jahre	10-15 Jahre	60-80 Jahre	70-80 Jahre	40-50 Jahre
Bauzeit	kurz	mittel	kurz	mittel	lang	mittel	kurz
<b>Wirtschaftlichkeit</b>							

**Tabelle A-01:** Ergebnismatrix bei Sanierungsentscheidungen – Teil 3

	Vor Ort härtendes Schlauchlining	Einzelrohr-Lining	Wickelrohr- Lining	Offene Bauweise	Berstlining	Überfahren und Microtunneling	Horizontal-Spül- Bohr-Verfahren
Nennweite bzw. Abmessung	100 - 800	300-800 und 150-600	250 - 800	beliebig	100 - 600	250 - 800	150 - 800
Profilart	beliebig	Kreis	Kreis, Ei	beliebig	Kreis	Kreis	Kreis
Werkstoff	beliebig	beliebig	beliebig	beliebig	STZ, B, GG, FZ, bedingt SB	STZ, B, FZ, bedingt SB	PE, PP, GJS, ST
Schadensart gemäß DIN 13508-2	siehe "ergänzende Ergebnismatrix"						
Wiederherst. / Erh. der statischen Tragfähigkeit	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Verbesserung der Bettungssituation	nein	ja	nein	ja	ja	ja	ja
hydr. Leistungsfähigkeit (Querschnittsreduzierung)	nein	groß	mittel	nein	gering	nein	nein
Wiederherstellung Zulaufanbindung	von innen	von außen	von außen	von außen	von außen	von außen	von außen
Vorbereitende Maßnahmen für die Sanierung	siehe "ergänzende Ergebnismatrix"						
Max. Arbeitsabschnitt [m]	600	300	200	beliebig	700	150	2600
<b>Technische Eignung</b>							
Grundwasserabsenkung	nein	ja	ja	ja	ja	nein	nein
Verkehrsbeeinträchtigung	siehe "ergänzende Ergebnismatrix"						
Verträglichkeit für Bäume / Boden / Gewässer	ja	ja	ja	bedingt	ja	ja	ja
Beeinträchtigung durch Lärm / Staub	gering	mittel	gering	groß	mittel	mittel	mittel
Erschütterungen	nein	mittel	nein	groß	mittel	gering	gering
Wasserrechtliche Genehmigung	nein	nein	nein	(ggf.) in WGG	nein	(ggf.) in WGG	(ggf.) in WGG
<b>Schutz der Umwelt</b>							
Kosten	niedrig	mittel	niedrig / mittel	mittel	hoch	sehr hoch	hoch
Nutzungsdauer	50 Jahre	70-80 Jahre	40-50 Jahre	80-100 Jahre	80-100 Jahre	80-100 Jahre	80-100 Jahre
Bauzeit	mittel	mittel	mittel	lang	mittel	lang	mittel
<b>Wirtschaftlichkeit</b>							

**Tabelle A-02:** Ergänzende Ergebnismatrix zum Kriterium „Schadensart“ Teil 1

	Injektions- verfahren mit Gel	Injektions- verfahren mit Harz	Flutungs- verfahren	Roboter- verfahren	Vor Ort härtende Kurzliner	Edelstahl- manschetten mit Flächen- elastomeren	Edelstahl- manschetten mit Verklebung	Zulauf- anbindung mit Injektions- verfahren	Zulauf- anbindung mit Roboter- verfahren	Zulauf- anbindung mit Hutprofil
<b>Schadensart gemäß DIN 13508-2</b>										
Verformung	oo	xxx	xxx	x	x	o	o	oo	oo	oo
Rissbildung in Längsrichtung	oo	xxx	xxx	xx	xx	xx	xx	oo	oo	o
Rissbildung am Rohrfumfang	oo	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	x	x	x
Rohrbruch	oo	xxx	x	xxx	xx	xxx	xxx	x	x	x
Einsturz	oo	x	oo	x	o	o	o	oo	oo	oo
Oberflächenschaden durch mechekanische Beschädigung	oo	oo	oo	xx	xxx	xx	xx	oo	x	xx
Oberflächenschaden durch Korrosion	oo	oo	oo	x	xxx	xx	xx	oo	x	xx
Einragender / schadhafter Anschluss	oo	oo	oo	oo	oo	oo	oo	xxx	xxx	xxx
Einragendes Dichtungsmaterial	oo	x	oo	xxx	xxx	xxx	xxx	x	x	x
Verschobene Verbindung	oo	xx	xx	xxx	xxx	xxx	xxx	x	x	x
Schadhafte Innenauskleidung	oo	o	oo	xxx	xxx	xxx	xxx	o	x	x
In-/Exfiltration (sichtbare Undichtigkeit)	xx	xxx	x	xx	xx	xxx	xx	xxx	xx	xx
Einträge unter "Schadensart gemäß DIN 13508-2"										
bes. empfehlenswert = xxx	anwendbar = xx	bedingt anwendbar = x	nicht empfehlenswert = o	nicht geeignet = oo						

**Tabelle A-02:** Ergänzende Ergebnismatrix zum Kriterium „Schadensart“ Teil 2

	Partielle Erneuerung	Rohrstrang-Lining	Close-Fit-Lining	Vor Ort härtendes Schlauch-lining	Einzelrohr-Lining	Wickelrohr-Lining	Offene Bauweise	Berstlining	Überfahren und Micro-tunneling	Horizontal-Spül-Bohr-Verfahren
<b>Schadensart gemäß DIN 13508-2</b>										
Verformung	xxx	xxx	xx	xx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	oo
Rissbildung in Längsrichtung	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	oo
Rissbildung am Rohrfumfang	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	oo
Rohrbruch	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	oo
Einsturz	xxx	oo	oo	oo	oo	oo	xxx	x	xxx	oo
Oberflächenschaden durch mechechanische Beschädigung	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	oo
Oberflächenschaden durch Korrosion	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	oo
Einragender / schadhafter Anschluss	xxx	oo	oo	oo	oo	oo	xxx	oo	oo	oo
Einragendes Dichtungsmaterial	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	oo
Verschoebene Verbindung	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	oo
Schadhafte Innenauskleidung	xxx	x	x	xx	x	x	xxx	xxx	xxx	oo
In-/Exfiltration (sichtbare Undichtigkeit)	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	oo



**Tabelle A-03:** Ergänzende Ergebnismatrix zum Kriterium „vorbereitende Maßnahmen“

	Injektions- verfahren mit Gel	Injektions- verfahren mit Harz	Flutungs- verfahren	Roboter- verfahren	Vor Ort härtende Kurzliner	Edelstahl- manschetten mit Flächen- elastomeren	Edelstahl- manschetten mit Verklebung	Zulaufan- bindung mit Injektions- verfahren	Zulaufan- bindung mit Roboter- verfahren	Zulauf- anbindung mit Hutprofil
<b>Vorbereitende Maßnahmen für die Sanierung</b>										
Reinigen	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Beseitigung von Hindernissen, Wurzeln und Ablagerungen	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Verfüllung von Hohlraum	ja	nein	ja	nein	ja	ja	ja	nein	nein	ja
Beseitigung anhaftender Stoffe	ja	ja	ja	nein	ja	nein	ja	ja	nein	ja
Vorflutsicherung	ja	nein	ja	ja	ja	nein	ja	ja	ja	ja
Erstellung Baugrube	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein


	Partielle Erneuerung	Rohrstrang- Lining	Close-Fit- Lining	Vor Ort härtendes Schlauchlining	Einzelrohr- Lining	Wickelrohr- Lining	Offene Bauweise	Berstlining	Überfahren und Micro- tunneling	Horizontal- Spül-Bohr- Verfahren
<b>Vorbereitende Maßnahmen für die Sanierung</b>										
Reinigen	nein	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein
Beseitigung von Hindernissen, Wurzeln und Ablagerungen	nein	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein
Verfüllung von Hohlraum	nein	nein	ja	ja	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Beseitigung anhaftender Stoffe	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Vorflutsicherung	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	nein
Erstellung Baugrube	ja	ja	nein	nein	ja	nein	ja	ja	ja	ja

**Tabelle A-04:** Ergänzende Ergebnismatrix zum Kriterium „Verkehrsbeeinträchtigung“

	Injektions- verfahren mit Gel	Injektions- verfahren mit Harz	Flutungs- verfahren	Roboter- verfahren	Vor Ort härtende Kurzliner	Edelstahl- manschetten mit Flächen- elastomeren	Edelstahl- manschetten mit Verklebung	Zulaufan- bindung mit Injektions- verfahren	Zulaufan- bindung mit Roboter- verfahren	Zulauf- anbindung mit Hutprofil
<b>Verkehrsbeeinträchtigung</b>										
Baugrube	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Platzbedarf an der Baustelle	mittel	mittel	gering	gering	mittel	gering	mittel	mittel	gering	mittel

	Partielle Erneuerung	Rohrstrang- Lining	Close-Fit- Lining	Vor Ort härtendes Schlauch- lining	Einzelrohr- Lining	Wickelrohr- Lining	Offene Bauweise	Berstining	Überfahren und Micro- tunneling	Horizontal- Spül-Bohr- Verfahren
<b>Verkehrsbeeinträchtigung</b>										
Baugrube	ja	ja	nein	nein	ja	nein	ja	ja	ja	ja
Platzbedarf an der Baustelle	groß	groß	mittel	mittel	groß	gering	groß	mittel	mittel	gering

**Tabelle A-05:** Entscheidungsmatrix des Haltungsbeispiels

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
		Injektions- verf. mit Harz	Roboter- verfahren	Vor Ort härtende Kurzliner	Partielle Erneuerung	Rohrstrang- Lining	Vor Ort härtendes Schlauchlining	Einzelrohr- Lining	Wickelrohr- Lining	Offene Bauweise	Berstlining	Überfahren und Micro- tunneling
1												
2	Schadensart gemäß DIN 13508-2	9,00	6,00	6,00	9,00	9,00	8,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00
3	hydr. Leistungsfähigkeit (Querschnittsreduzierung)	9,00	9,00	6,00	9,00	1,00	9,00	1,00	3,00	9,00	6,00	9,00
4	Wiederherstellung Zulaufanbindung	1,00	1,00	1,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00
5	Vorbereitende Maßnahmen für die Sanierung	5,00	5,00	2,33	6,33	3,67	3,67	3,67	5,00	6,33	6,33	6,33
6	Max. Arbeitsabschnitt [m]	9,00	5,00	5,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00
7	<b>Technische Eignung</b>											
8	Grundwasserabsenkung	9,00	5,00	5,00	1,00	5,00	9,00	1,00	1,00	1,00	1,00	9,00
9	Verkehrsbeeinträchtigung	7,00	9,00	7,00	1,00	1,00	7,00	1,00	9,00	1,00	3,00	3,00
10	Verträglichkeit für Bäume / Boden / Gewässer	9,00	9,00	9,00	1,00	9,00	9,00	9,00	9,00	1,00	9,00	9,00
11	Beeinträchtigung durch Lärm / Staub	9,00	9,00	9,00	1,00	5,00	9,00	5,00	9,00	1,00	5,00	5,00
12	Erschütterungen	9,00	9,00	9,00	1,00	3,00	9,00	3,00	9,00	1,00	3,00	6,00
13	Wasserrechtliche Genehmigung	9,00	9,00	9,00	1,00	9,00	9,00	9,00	9,00	1,00	9,00	1,00
14	<b>Schutz der Umwelt</b>											
15	Kosten	5,00	8,00	6,00	4,00	7,00	7,00	5,00	6,00	5,00	3,00	1,00
16	Nutzungsdauer	3,50	3,00	2,00	7,50	8,00	5,50	8,00	5,00	8,50	8,50	8,50
17	Bauzeit	5,00	9,00	9,00	1,00	5,00	5,00	5,00	5,00	1,00	5,00	1,00
18	<b>Wirtschaftlichkeit</b>											
19												
20	<b>Gesamtnutzen</b>											
21												

**Tabelle A-06:** Entscheidungsmatrix „Schadensart“

	Injektions- verfahren mit Harz	Roboter- verfahren	Vor Ort härtende Kurzhliner	Partielle Erneuerung	Rohrstrang- Lining	Vor Ort härtendes Schlauch- lining	Einzelrohr- Lining	Wickelrohr- Lining	Offene Bauweise	Berstlining	Überfahren und Micro- tunneling
<b>Schadensart gemäß DIN 13508-2</b>											
Verformung	xxx	x	x	xxx	xxx	xx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Rissbildung in Längsrichtung	xxx	xx	xx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Rissbildung am Rohrumfang	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Rohrbruch	xxx	xxx	xx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Einsturz	x	x	o	xxx	oo	oo	oo	oo	xxx	x	xxx
Oberflächenschaden durch mechanische Beschädigung	oo	xx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Oberflächenschaden durch Korrosion	oo	x	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Einragender / schadhafter Anschluss	oo	oo	oo	xxx	oo	oo	oo	oo	xxx	oo	oo
Einragendes Dichtungsmaterial	x	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Verschobene Verbindung	xx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Schadhafte Innenauskleidung	o	xxx	xxx	xxx	x	xx	x	x	xxx	xxx	xxx
In-/Exfiltration (sichtbare Undichtigkeit)	xxx	xx	xx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
<b>Bewertungsschema:</b>		Ausschluss (K.O.)									
		1		oo = nicht geeignet							
		3		o = nicht empfehlenswert							
		6		x = bedingt anwendbar							
		9		xx = anwendbar							
				xxx = besonders empfehlenswert							
Verformung	9	3	3	9	9	6	9	9	9	9	9
Rissbildung am Rohrumfang	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
In-/Exfiltration (sichtbare Undichtigkeit)	9	6	6	9	9	9	9	9	9	9	9
<b>Schadensart gemäß DIN 13508-2</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>

**Tabelle A-07:** Entscheidungsmatrix „vorbereitende Maßnahmen“

	Injektions- verfahren mit Harz	Roboter- verfahren	Vor Ort härtende Kurzliner	Partielle Erneuerung	Rohrstrang- Lining	Vor Ort härtendes Schlauch- lining	Einzelrohr- Lining	Wickelrohr- Lining	Offene Bauweise	Berstlining	Überfahren und Micro- tunneling
<b>Vorbereitende Maßnahmen für die Sanierung</b>											
Reinigen	ja	ja	ja	nein	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein
Beseitigung von Hindernissen, Wurzeln und Ablagerungen	ja	ja	ja	nein	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein
Verfüllung von Hohlraum	nein	nein	ja	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	nein
Beseitigung anhaftender Stoffe	ja	nein	ja	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Vorflutsicherung	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Erstellung Baugrube	nein	nein	nein	ja	ja	nein	ja	nein	ja	ja	ja
<b>Bewertung: ja = 1, nein = 9</b>											
Reinigen	1	1	1	9	1	1	1	1	9	9	9
Beseitigung von Hindernissen, Wurzeln und Ablagerungen	1	1	1	9	1	1	1	1	9	9	9
Verfüllung von Hohlraum	9	9	1	9	9	1	9	9	9	9	9
Beseitigung anhaftender Stoffe	1	9	1	9	9	9	9	9	9	9	9
Vorflutsicherung	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Erstellung Baugrube	9	9	9	1	1	9	1	9	1	1	1
<b>Vorbereitende Maßnahmen für die Sanierung</b>	<b>5,00</b>	<b>5,00</b>	<b>2,33</b>	<b>6,33</b>	<b>3,67</b>	<b>3,67</b>	<b>3,67</b>	<b>5,00</b>	<b>6,33</b>	<b>6,33</b>	<b>6,33</b>

**Tabelle A-08:** Entscheidungsmatrix „Verkehrsbeeinträchtigung“

	Injektions- verfahren mit Harz	Roboter- verfahren	Vor Ort härtende Kurzliner	Partielle Erneuerung	Rohrstrang- Lining	Vor Ort härtendes Schlauch- lining	Einzelrohr- Lining	Wickelrohr- Lining	Offene Bauweise	Berstlining	Überfahren und Micro- tunneling
<b>Verkehrs- beeinträchtigung</b>											
Baugrube	nein	nein	nein	ja	ja	nein	ja	nein	ja	ja	ja
Platzbedarf an der Baustelle	mittel	gering	mittel	groß	groß	mittel	groß	gering	groß	mittel	mittel
<b>Bewertung:</b>											
Baugrube	nein = 9	ja = 1									
Platzbedarf	gering = 9	mittel = 5	groß = 1								
Baugrube	9	9	9	1	1	9	1	9	1	1	1
Platzbedarf an der Baustelle	5	9	5	1	1	5	1	9	1	5	5
<b>Verkehrs beeinträchtigung</b>	7	9	7	1	1	7	1	9	1	3	3

**Tabelle A-09:** Berechnungsmatrix der Kriteriengewichte

Kriteriengewichtung											
		techn. E		SdU		WK					
Technische Eignung		1,00		3,00		0,50		0,30	0,30	0,30	0,30
Schutz der Umwelt		0,33		1,00		0,17		0,10	0,10	0,30	0,10
Wirtschaftlichkeit		2,00		5,99		1,00		0,60	0,60	1,80	0,60
		3,33		9,99		1,67		1,00	1,00	3,00	1,00
		SchA	QR	WZ	VMfS	Max. AA					
Schadensart		1,00	5,00	3,00	7,00	9,00	0,56	0,52	0,65	0,38	0,38
Querschnittsreduzierung		0,20	1,00	0,33	3,00	5,00	0,11	0,10	0,07	0,16	0,21
Wiederherst. Zulaufab.		0,33	3,03	1,00	7,00	7,00	0,19	0,32	0,22	0,38	0,29
Vorber. Maßnahmen für die Sanierung		0,14	0,33	0,14	1,00	2,00	0,08	0,03	0,03	0,05	0,08
Max. Arbeitsabschnitt		0,11	0,20	0,14	0,50	1,00	0,06	0,02	0,03	0,03	0,04
		1,79	9,56	4,62	18,50	24,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
		GWA	VB	VfBBG	BdLS	Ersch.	WG				
Grundwasserabsenkung		1,00	0,50	3,00	3,00	7,00	9,00	0,26	0,24	0,28	0,27
Verkehrsbeeinträchtigung		2,00	1,00	5,00	5,00	9,00	9,00	0,51	0,47	0,47	0,45
Verträglichkeit für Bâ / Bo / Gew		0,33	0,20	1,00	1,00	3,00	3,00	0,09	0,09	0,09	0,09
Beeinträchtigung durch Lärm / Staub		0,33	0,20	1,00	1,00	2,00	2,00	0,09	0,09	0,09	0,09
Erschütterungen		0,14	0,11	0,33	0,50	1,00	1,00	0,04	0,05	0,03	0,05
Wasserrechtliche Genehmigung		0,11	0,11	0,33	0,50	1,00	1,00	0,03	0,05	0,03	0,05
		3,92	2,12	10,67	11,00	23,00	25,00	1,00	1,00	1,00	1,00
		K	ND	BZ							
Kosten		1,00	2,00	7,00	0,609	0,625	0,538	1,772	0,59		
Nutzungsdauer		0,50	1,00	5,00	0,304	0,313	0,385	1,001	0,33		
Bauzeit		0,14	0,20	1,00	0,087	0,063	0,077	0,226	0,08		
		1,64	3,20	13,00	1,00	1,00	1,00	3,00	1,00		

Weiter

**Tabelle A-10:** Entscheidungsmatrix mit Kriteriengewichtung

	Kriterien gewichtung	Injektionsverf. mit Harz		Roboter- verfahren		Vor Ort härtende Kurzliner		Partielle Erneuerung		Rohrstrang- Lining		Vor Ort härtendes Schlauchlining		Einzelrohr- Lining		Wickelrohr- Lining		Offene Bauweise		Berstlining		Überfahren und Microtunneling	
Schadensart gemäß DIN 13508-2	0,50	9,00	4,48	6,00	2,99	9,00	4,48	9,00	4,48	9,00	4,48	9,00	4,48	9,00	4,48	9,00	4,48	9,00	4,48	9,00	4,48	9,00	4,48
Querschnittsreduzierung	0,13	9,00	1,19	9,00	1,19	9,00	1,19	9,00	1,19	9,00	1,19	9,00	1,19	9,00	1,19	9,00	1,19	9,00	1,19	9,00	1,19	9,00	1,19
Wiederherstellung Zulaufanbindung	0,28	1,00	0,28	1,00	0,28	9,00	2,50	9,00	2,50	9,00	2,50	9,00	2,50	9,00	2,50	9,00	2,50	9,00	2,50	9,00	2,50	9,00	2,50
Vorber. Maßnahmen für Sanierung	0,06	5,00	0,28	5,00	0,28	2,33	0,13	6,33	0,35	3,67	0,21	3,67	0,21	5,00	0,28	6,33	0,35	6,33	0,35	6,33	0,35	6,33	0,35
Max. Arbeitsabschnitt [m]	0,04	9,00	0,32	5,00	0,18	9,00	0,32	9,00	0,32	9,00	0,32	9,00	0,32	9,00	0,32	9,00	0,32	9,00	0,32	9,00	0,32	9,00	0,32
Technische Eignung	0,30		6,55		4,91		4,37		8,85		7,65		8,20		7,65		7,98		8,85		8,45		8,85
Grundwasserabsenkung	0,30	9,00	2,69	5,00	1,49	1,00	0,30	5,00	1,49	1,00	0,30	5,00	1,49	1,00	0,30	5,00	1,49	1,00	0,30	5,00	1,49	1,00	0,30
Verkehrsbeeinträchtigung	0,43	7,00	2,99	9,00	3,85	7,00	2,99	1,00	0,43	1,00	0,43	7,00	2,99	1,00	0,43	9,00	3,85	1,00	0,43	9,00	3,85	1,00	0,43
Verträglichkeit für Bäume / Boden / Gewässer	0,11	9,00	0,96	9,00	0,96	1,00	0,11	9,00	0,96	1,00	0,11	9,00	0,96	1,00	0,11	9,00	0,96	1,00	0,11	9,00	0,96	1,00	0,96
Beeinträchtigt durch Lärm / Staub	0,09	9,00	0,78	9,00	0,78	1,00	0,09	5,00	0,44	5,00	0,44	9,00	0,78	5,00	0,44	9,00	0,78	1,00	0,09	5,00	0,44	5,00	0,44
Erschütterungen	0,04	9,00	0,37	9,00	0,37	1,00	0,04	3,00	0,12	3,00	0,12	9,00	0,37	3,00	0,12	9,00	0,37	1,00	0,04	3,00	0,12	6,00	0,25
Wasserrechtliche Genehmigung	0,04	9,00	0,36	9,00	0,36	1,00	0,04	9,00	0,36	1,00	0,36	9,00	0,36	9,00	0,36	9,00	0,36	1,00	0,04	9,00	0,36	1,00	0,04
Schutz der Umwelt	0,10		8,14		7,81		6,95		1,00		3,79		8,14		2,60		6,61		1,00		3,45		5,65
Kosten	0,59	5,00	2,95	8,00	4,73	6,00	3,54	4,00	2,36	7,00	4,13	7,00	4,13	5,00	2,95	6,00	3,54	5,00	2,95	3,00	1,77	1,00	0,59
Nutzungsdauer	0,33	3,50	1,17	3,00	1,00	2,00	0,67	7,50	2,50	8,00	2,67	5,50	1,84	8,00	2,67	5,00	1,67	8,50	2,84	8,50	2,84	8,50	2,84
Bauzeit	0,08	5,00	0,38	9,00	0,68	1,00	0,08	5,00	0,08	1,00	0,38	5,00	0,38	5,00	0,38	5,00	0,38	1,00	0,08	5,00	0,38	1,00	0,08
Wirtschaftlichkeit	0,60		4,50		6,40		4,89		4,94		7,18		6,35		6,00		5,59		5,86		4,98		3,50
Gesamtnutzen			5,48		6,10		4,94		5,72		6,98		7,08		6,15		6,41		6,27		5,87		5,32
Sensitivitätsanalyse																							
Rangfolge																							



**Tabelle A-11: Sensitivitätsanalyse**

Kriterien gewichtung	Sensitivitäts- analyse	Sensitivitäts- analyse	Injektionsverf. mit Harz	Roboter- verfahren	Vor Ort härtende Kurzliner	Partielle Erneuerung	Rohrstrang- Lining	Vor Ort härtendes Schlauchlining	Einzelrohr- Lining	Wickelrohr- Lining	Offene Bauweise	Berstlining	Überfahren und Microtunneling
Schadensart gemäß DIN 13508-2	0,50	-0,08	0,42	9,00	3,76	6,00	2,51	6,00	2,51	9,00	3,76	9,00	3,76
Querschnittsreduzierung	0,13	0,02	0,15	9,00	1,37	9,00	0,91	6,00	0,91	9,00	1,37	9,00	1,37
Wiederherstellung Zulaufanbindung	0,28	0,02	0,30	1,00	0,30	1,00	0,30	9,00	2,68	9,00	2,68	9,00	2,68
Vorber. Maßnahmen für Sanierung	0,06	0,02	0,08	5,00	0,38	5,00	0,38	2,33	0,18	6,33	0,48	6,33	0,48
Max. Arbeitsabschnitt [m]	0,04	0,02	0,06	9,00	0,50	9,00	0,50	5,00	0,28	9,00	0,50	9,00	0,50
<b>Technische Eignung</b>	<b>0,30</b>	<b>0,04</b>	<b>0,34</b>	<b>6,31</b>	<b>4,83</b>	<b>4,18</b>	<b>8,80</b>	<b>7,38</b>	<b>7,38</b>	<b>7,78</b>	<b>8,80</b>	<b>8,34</b>	<b>8,80</b>
Grundwasserabsenkung	0,30	0,016	0,31	9,00	2,83	5,00	1,57	5,00	1,57	1,00	0,31	1,00	0,31
Verkehrsbeeinträchtigung	0,43	-0,08	0,35	7,00	2,43	9,00	3,13	7,00	2,43	1,00	0,35	3,00	1,04
Verträglichkeit für Ba / Bo / Gew	0,11	0,016	0,12	9,00	1,10	9,00	1,10	9,00	1,10	9,00	1,10	9,00	1,10
Beeinträchtigt. durch Lärm / Staub	0,09	0,016	0,10	9,00	0,93	9,00	0,93	9,00	0,52	9,00	0,93	1,00	0,52
Erschütterungen	0,04	0,016	0,06	9,00	0,51	9,00	0,51	9,00	0,17	9,00	0,51	3,00	0,17
Wasserrechtliche Genehmigung	0,04	0,016	0,06	9,00	0,50	9,00	0,50	9,00	0,50	9,00	1,00	0,06	1,00
<b>Schutz der Umwelt</b>	<b>0,10</b>	<b>0,04</b>	<b>0,14</b>	<b>8,30</b>	<b>7,74</b>	<b>7,05</b>	<b>1,00</b>	<b>4,21</b>	<b>2,95</b>	<b>6,49</b>	<b>1,00</b>	<b>3,64</b>	<b>5,89</b>
Kosten	0,59	-0,08	0,51	5,00	2,55	8,00	4,09	6,00	3,06	3,06	5,00	2,55	3,00
Nutzungsdauer	0,33	0,04	0,37	3,50	1,31	3,00	1,12	2,00	0,75	7,50	2,80	8,50	3,18
Bauzeit	0,08	0,04	0,12	5,00	0,58	9,00	1,04	9,00	1,04	1,00	0,12	5,00	0,58
<b>Wirtschaftlichkeit</b>	<b>0,60</b>	<b>-0,08</b>	<b>0,52</b>	<b>4,44</b>	<b>6,24</b>	<b>4,85</b>	<b>4,96</b>	<b>7,14</b>	<b>6,12</b>	<b>5,51</b>	<b>5,84</b>	<b>5,28</b>	<b>3,80</b>
<b>Gesamtnutzen</b>				<b>5,62</b>	<b>5,97</b>	<b>4,93</b>	<b>5,71</b>	<b>6,81</b>	<b>6,10</b>	<b>6,42</b>	<b>6,17</b>	<b>6,09</b>	<b>5,79</b>

**Tabelle A-12:** Entscheidungsmatrix mit Teil- und Gesamtnutzen (ursprüngliche Rangfolge)

	Schadef hydr. LtWieder Vorber:Max. Ar Technische Grundw Verkehr Verträge Beeintr:Erschüt Wasser Schutz der Kosten Nutzung Bauzeit Wirtschaftlichkeit Gesamtnutzen																	
Vor Ort härtendes Schlauchlining Rohrstrang-Lining Wickelrohr-Lining Offene Bauweise Einzelrohr-Lining Roboterfahren Berstlining Partielle Erneuerung Injektionsverf. mit Harz Überfahren und Microtunneling Vor Ort härtende Kurzliner	3,98	1,19	2,50	0,21	0,33	8,20	2,69	2,99	0,95	0,78	0,37	0,36	8,14	4,14	1,84	0,38	6,35	7,08
	4,47	0,13	2,50	0,21	0,33	7,64	1,49	0,43	0,95	0,43	0,12	0,36	3,79	4,14	2,67	0,38	7,18	6,98
	4,47	0,40	2,50	0,28	0,33	7,98	0,30	3,85	0,95	0,78	0,37	0,36	6,61	3,54	1,67	0,38	5,59	6,41
	4,47	1,19	2,50	0,36	0,33	8,85	0,30	0,43	0,11	0,09	0,04	0,04	1,00	2,95	2,84	0,08	5,87	6,27
	4,47	0,13	2,50	0,21	0,33	7,64	0,30	0,43	0,95	0,43	0,12	0,36	2,60	2,95	2,67	0,38	6,00	6,15
	2,98	1,19	0,28	0,28	0,18	4,91	1,49	3,85	0,95	0,78	0,37	0,36	7,81	4,73	1,00	0,68	6,41	6,10
	4,47	0,79	2,50	0,36	0,33	8,45	0,30	1,28	0,95	0,43	0,12	0,36	3,45	1,77	2,84	0,38	4,99	5,87
	4,47	1,19	2,50	0,36	0,33	8,85	0,30	0,43	0,11	0,09	0,04	0,04	1,00	2,36	2,50	0,08	4,94	5,72
	4,47	1,19	0,28	0,28	0,33	6,55	2,69	2,99	0,95	0,78	0,37	0,36	8,14	2,95	1,17	0,38	4,50	5,48
	4,47	1,19	2,50	0,36	0,33	8,85	2,69	1,28	0,95	0,43	0,25	0,04	5,64	0,59	2,84	0,08	3,50	5,32
2,98	0,79	0,28	0,13	0,18	4,37	1,49	2,99	0,95	0,78	0,37	0,36	6,95	3,54	0,67	0,68	4,89	4,94	

**Tabelle A-13:** Entscheidungsmatrix mit Teil- und Gesamtnutzen (Sensitivitätsanalyse)

Schadenhydr. Le Wiedert Vorbere Max. Art Technische Grundv Verkeh. Verträge Beeintr Erschül Wasser Schutz der Kosten Nutzen; Bauzeit Wirtschaftlichkeit Gesamtnutzen																		
Vor Ort härtendes SSSchlauchlining  Rohrstrang-Lining  Wickelrohr-Lining  Offene Bauweise  Einzelrohr-Lining  Berstlining  Roboterfahren  Überfahren und Microtunneling  Partielle Erneuerung  Injektionsverf. mit Harz  Vor Ort härtende Kurzliner	3,34	1,37	2,68	0,28	0,51	8,17	2,83	2,43	1,09	0,93	0,52	0,51	8,30	3,58	2,06	0,58	6,21	7,17
	3,75	0,15	2,68	0,28	0,51	7,38	1,57	0,35	1,09	0,51	0,17	0,51	4,21	3,58	2,99	0,58	7,14	6,81
	3,75	0,46	2,68	0,38	0,51	7,78	0,31	3,13	1,09	0,93	0,52	0,51	6,48	3,06	1,87	0,58	5,51	6,42
	3,75	1,37	2,68	0,49	0,51	8,80	0,31	0,35	0,12	0,10	0,06	0,06	1,00	2,55	3,18	0,12	5,85	6,17
	3,75	0,15	2,68	0,28	0,51	7,38	0,31	0,35	1,09	0,51	0,17	0,51	2,95	2,55	2,99	0,58	6,12	6,10
	3,75	0,91	2,68	0,49	0,51	8,34	0,31	1,04	1,09	0,51	0,17	0,51	3,64	1,53	3,18	0,58	5,29	6,10
	2,50	1,37	0,30	0,38	0,28	4,83	1,57	3,13	1,09	0,93	0,52	0,51	7,74	4,09	1,12	1,04	6,25	5,97
	3,75	1,37	2,68	0,49	0,51	8,80	2,83	1,04	1,09	0,51	0,34	0,06	5,88	0,51	3,18	0,12	3,80	5,79
	3,75	1,37	2,68	0,49	0,51	8,80	0,31	0,35	0,12	0,10	0,06	0,06	1,00	2,04	2,80	0,12	4,96	5,71
	3,75	1,37	0,30	0,38	0,51	6,31	2,83	2,43	1,09	0,93	0,52	0,51	8,30	2,55	1,31	0,58	4,44	5,62
	2,50	0,91	0,30	0,18	0,28	4,17	1,57	2,43	1,09	0,93	0,52	0,51	7,05	3,06	0,75	1,04	4,85	4,93

# Lebenslauf

## Zur Person

Name:	Christian Peter Ochs
Ausbildung:	Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH)
Staatsangehörigkeit:	deutsch

## Beruflicher Werdegang

Seit 10/2009	Technische Universität Kaiserslautern wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Baubetrieb und Bauwirtschaft von Herrn Prof. Dr.-Ing. Karsten Körkemeyer
12/2003- 09/2009	Technische Universität Kaiserslautern wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Baubetrieb und Bauproduktion von Herrn Prof. Dr. rer. pol. Dipl.-Ing. Rolf Fillibeck

## Berufliche Ausbildung

04/2005- 10/2008	<b>Studium Wirtschaftsingenieurwesen (Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH))</b> Technische Akademie Südwest e.V. (TAS) Kaiserslautern Abschluss des Weiterbildungsstudiums zum Diplom-Wirtschaftsingenieur (FH) <i>Thema der Diplomarbeit:</i> Instandhaltungsstrategien und deren zugehörige Instandhaltungskosten bei Bürogebäuden – Versuch einer Qualifizierung des Einflusses auf den Marktwert
04/2005- 07/2007	<b>Weiterbildungsstudium Grundstücksbewertung (Sachverständiger)</b> Technische Akademie Südwest e.V. (TAS) Kaiserslautern Abschluss des Weiterbildungsstudiums zum Sachverständigen für die Bewer- tung bebauter und unbebauter Grundstücke sowie Mieten und Pachten
10/1997- 11/2003	<b>Studium Bauingenieurwesen (Dipl.-Ing.)</b> Technische Universität Kaiserslautern Abschluss des Studiums zum Diplom-Ingenieur <i>Studienschwerpunkte:</i> Baubetrieb und Bauproduktion, Baubetriebs- wirtschaftslehre / Facility Management, Integrierte Hochbautechnik (IHT) <i>Thema der Diplomarbeit:</i> Optimierung der Instandhaltungskosten bei Büro- gebäuden – Analyse der Instandhaltungszyklen ausgewählter Gewerke